Job Shop - Simulation auf dem Minicomputer: Ein Instrument zur Reihenfolge- und Terminplanung in der Textillohnveredlungsindustrie

Dissertation
der Rechts- und
staatswissenschaftlichen Fakultät
der Universität Zürich
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaft

vorgelegt von
Gerrit Müller
von Oesterreich

genehmigt auf Antrag von
Herrn Prof. Dr. K. Bauknecht

1979

Druck: Kaindl, Feldkirch 1978

Job Shop - Simulation auf dem Minicomputer: Ein Instrument zur Reihenfolge- und Terminplanung in der Textillohnveredlungsindustrie

Dissertation
der Rechts- und
staatswissenschaftlichen Fakultät
der Universität Zürich
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaft

vorgelegt von
Gerrit Müller
von Oesterreich

genehmigt auf Antrag von
Herrn Prof. Dr. K. Bauknecht

Druck: Kaindl, Feldkirch 1978

Die Rechts- und staatswissenschaftliche Faktultät gestattet hierdurch die Drucklegung vorliegender Dissertation, ohne damit zu den darin ausgesprochenen Anschauungen Stellung zu nehmen.

Zürich, den 8. November 1978

Der Dekan:

Prof. Dr. J. Rehberg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Vorwort

Diese Arbeit entstand 1976 - 78 im Rahmen meiner beruflichen Tätigkeit in einem Textillohnveredlungsbetrieb.

Meinem akademischen Lehrer Herrn Prof. Dr. K. Bauknecht, Direktor des Instituts für Informatik, möchte ich für sein Interesse an dem vorliegenden Thema und für seine freundliche Unterstützung an erster Stelle danken. Auch Herrn Univ. Doz. Dr. O. Müller danke ich für die Übernahme des Koreferates. Herrn Dr. M. Mresse, Assistent am Institut für Informatik, gilt mein Dank für wertvolle Anregungen und kritische Durchsicht der Arbeit. Nicht zuletzt danke ich meiner Frau für die Erstellung des druckfertigen Manuskriptes und der Reinzeichnung der Programmablaufpläne.

Feldkirch, im September 1978

Gerrit Müller

Bei Bedarf ist das Programmpaket SIMTEX auf verschiedenen Speichermedien beim Autor erhältlich. (Adresse: Gerrit Müller, Weihergasse 7, A-6807 Feldkirch, Österreich)

Inhaltsverzeichnis

A. Theoretische Grundlagen

1. Problemstellung und Ziele der Arbeit 1

2. Die Stellung der Textillohnveredlung im Rahmen der Textilindustrie 3

2.1. Veredlung: Ein Produktionsabschnitt bei der Herstellung von Textilien 3
2.2. Lohnveredlung: Textilveredlung mit auftragsorientierter Produktion 6

3. Reihenfolge- und Terminplanung im Planungssystem der Textillohnveredlungsindustrie 8

3.1. Die Unternehmensplanung 8
3.2. Die Produktionsplanung 8
3.3. Die Reihenfolgeplanung bei Auftragsfertigung 10
3.3.1. Zum Begriff der Reihenfolgeplanung 10
3.3.2. Das "Dilemma der Ablaufplanung" im Rahmen der Reihenfolgefestlegung bei Auftragsfertigung 11
3.3.3. Textillohnveredlung: Ein System mit Reihenfolgeplanung bei Auftragsfertigung 12
3.3.4. Zielkriterien der Reihenfolgeplanung bei Auftragsfertigung 15
3.4. Die Terminplanung bei Auftragsfertigung 22
3.4.1. Aufgaben der Terminplanung bei Auftragsfertigung 22
3.4.2. Ziele der Terminplanung bei Auftragsfertigung 24
3.4.3. Möglichkeiten der Terminfestlegung für ein Modell eines Textillohnveredlungsbetriebes 26

4. Heuristische Verfahren der Reihenfolgeplanung auf der Grundlage von Prioritätsregeln 28

4.1. Zum Begriff heuristischer Verfahren für die Reihenfolgeplanung 28
4.2. Geeignete Prioritätsregeln für die Textillohnveredlung 29
4.2.1. Regeln mit Priorität in bezug auf die Ankunftszeit 29
4.2.2. Regeln mit Priorität in bezug auf die Bearbeitungszeit 30
4.2.3. Regeln mit Priorität in bezug auf den Fertigstellungstermin 31
4.2.4. Kombinierte Prioritätsregeln 32
4.2.5. Güte der behandelten Regeln in bezug auf die angestrebten Ziele 33

5. Die Job Shop - Simulation in der Textillohnveredlung 37

5.1. Zur formalen Systemdarstellung 37
5.1.1. Systemdarstellung mit realen Komponenten 38
5.1.2. Exkurs: Systemdarstellung mit imaginären Komponenten 39
5.2. Relative Systemoptimierung - Test von Strategien mit Hilfe von Prioritätsregeln 40

6. Beschreibung des Modells der Textillohnveredlung "SIMTEX" 41

6.1. Die Prämissen des Modells 41
6.2. Die Aufbereitung der Daten 43
6.2.1. Die Aufbereitung der Daten des Maschinenparks 43
6.2.2. Die Aufbereitung der Daten der Kundenaufträge 45
6.2.3. Die Aufbereitung der Daten der Produktionsprozesse 46

6.3. Der Aufbau des Modells 47
6.3.1. Die Zeit- und Ereignissteuerung 47
6.3.2. Die Darstellung der verschiedenen Textilveredlungsmaschinen in simulationstechnischer Sicht 50
6.3.3. Der Textillohnveredlungsbetrieb als System von Warteschlangen 62
6.4. Probleme und Restriktionen des Modells 65
6.4.1. Probleme eines deterministischen Modells für Planungszwecke 65
6.4.2. Probleme der Genauigkeit des Modells 66
6.4.3. Probleme des Planungshorizonts des Modells 67
6.5. Behandlung von Spezialproblemen der Textillohnveredlung 68
6.5.1. Vereinigung und Trennung von Aufträgen, die gemeinsam bearbeitet werden sollen 68
6.5.2. Warensammelprozesse 69
6.5.3. Maschinen und Prozesse mit feststehender Prioritätsregel 69
6.5.4. Probleme technolcgischer Prozesse gezeigt am Beispiel der diskontinuierlichen Färberei 70

7. Die Implementation der Job Shop - Simulation auf dem Minicomputer 72

7.1. Die geeignete Hardware 72
7.2. Die Auswahl der Programmiersprache 73
7.3. Die Programmierung des Modells "SIMTEX" 75
7.3.1. SIMTEX - Ein blockorientiertes Simulationssystem 75
7.3.2. Das Systemsteuerprogramm SIM3 77
7.3.3. Der Block SSTART - Initialisierung und Belegung des Systems zur Startzeit 89
7.3.4. Der Block BELFAC - Belegen einer Maschine mit einem Auftrag 89
7.3.5. Der Block BUFFER - Auswahl der Aufträge für eine Maschine 90
7.3.6. Der Block FINFAC - Fertigstellung eines Auftrages auf einer Maschine 91

7.3.7. Der Block STRFAC - Startversuch einer Maschine zur vorgegebenen Zeit 91
7.3.8. Der Block BELSTO - Belegen eines Speichers mit einem Auftrag 91
7.3.9. Der Block FINSTO - Freigabe eines Auftrages aus einem Speicher 92
7.3.10. Der Block STRSTO - Startversuch eines Speichers zur vorgegebenen Zeit 92
7.3.11. Der Block BELVER - Belegen einer Verweilstation mit einem Auftrag 93
7.3.12. Der Block FINVER - Freigabe eines Auftrages aus einer Verweilstation 93
7.3.13. Der Block MFFIND - Auffinden der nächsten Maschinengruppe 93
7.3.14. Der Block JSTAT - Erstellen einer Auftragsstatistik der fertiggestellten Aufträge 95
7.3.15. Der Block JSTAT2 - Verfolgen der Startzeiten der Aufträge auf den Maschinen, Speichern und Verweilstationen 97
7.3.16. Der Block JSTAT3 - Report über die unerledigten Aufträge, die sich noch im Modell befinden 99
7.3.17. Der Block MGSTAT - Erstellen einer Maschinenstatistik 101
7.3.18. Die Blöcke der Prioritätsregeln 103
7.3.19. Das Hilfsprobramm JSORT 103
7.3.20. Das Programm INFILE 103
7.3.21. Das Programm FACSET 105
7.3.22. Das Programm WMLAUF 107
7.3.23. Das Programm JOBSET 109
7.4. Restriktionen und Beschleunigungsmassnahmen des Programmpaketes SIMTEX auf dem Minicomputer 112

B. Praktische Anwendung

8. Praktische Anwendung des Modells in einem Textillohnveredlungsbetrieb und Resultate der Simulation 113

8.1. Versuchsplanung 114
8.2. Zur Durchführung der Simulation: Einfahren des Modells 116
8.3. Resultate in bezug auf die Validierung des Simulationsmodells und die daraus ableitbare Güte der Terminplanung 118
8.4. Resultate des Modells in bezug auf die relative Optimierung von Zeit- und Kapazitätsparametern mit Hilfe der eingesetzten Prioritätsregeln 127
8.4.1. Resultate zur Minimierung der mittleren Durchlauf- bzw. Wartezeit und zur Maximierung der Kapazitätsauslastung mit Hilfe der Prioritätsregel KOZ 127
8.4.2. Resultate zur Minimierung der mittleren Terminüberschreitungszeit mit Hilfe der Prioritätsregel SCHLUPF 134
8.4.3. Resultate zur Minimierung der mittleren Terminüberschreitungszeit mit Hilfe der Prioritätsregel CONWAY 139
8.5. Kommentar zu den Resultaten 145

9. Schlussbetrachtung 147

C. Anhang

Simulationssystem SIMTEX
Definition von Programmvariablen und Dateien 151
Flussdiagramme 153

Textiltechnisches Glossar 247

Literaturverzeichnis 251

Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen und Output-Beispiele

Abbildungen

Bild 1: Der Textillohnveredlungsbetrieb als Rückkopplungssystem, dargestellt mit DYNAMO-Symbolen 13

Bild 2: Das Zielsystem der Reihenfolgeplanung bei Auftragsfertigung 19

Bild 3: Simulationsmodell und reales System 37

Bild 4: Verfahrenstechnisches Grobdiagramm der Zeit- und Ereignissteuerung 49

Bild 5: J-Box Bleichanlage und ihre Abbildungen in Funktionsblöcken des Modells "SIMTEX" 56

Bild 6: Kontinue - Breitbleichanlage mit Verweilstation und ihre Abbildung in Funktionsblöcken des Modells "SIMTEX" 60

Bild 7: Beziehungsstrukturen Warteschlange - Maschine 63

Bild 8: Prozessgebundene Prioritätsregel 70

Bild 9: FORTRAN IV und davon abgeleitete Systeme klassifiziert im Verhältnis zum speziellen Problem SIMTEX 74

Bild 10: Einlaufphase des Simulationsmodells des getesteten Textillohnveredlungsbetriebes 117

Bild 11: Auftragsdaten: Simulation mit FCFS 122

Bild 12: Modellvalidierung und Terminplanung mit der Prioritätsregel FCFS 124

Bild 13: Modellvalidierung und Terminplanung mit der Prioritätsregel FCFS 125

Bild 14: Mittlere Wartezeit und Standardabweichung mit der Prioritätsregel FCFS 126

Bild 15: Auftragsdaten: Simulation mit Prioritätsregel KOZ 129

Bild 16: Minimierung der mittleren Durchlaufzeit mit der Prioritätsregel KOZ 131

Bild 17: Minimierung der mittleren Wartezeit mit der Prioritätsregel KOZ 132

Bild 18: Maximierung der Kapazitätsauslastung der Maschinen mit Prioritätsregel KOZ 133

Bild 19: Auftragsdaten: Simulation mit Prioritätsregel SCHLUPF 136

Bild 20: Minimierung der errechneten mittleren Terminüberschreitung mit der Prioritätsregel SCHLUPF 138

Bild 21: Auftragsdaten: Simulation mit der Prioritätsregel CONWAY 141

Bild 22: Minimierung der errechneten mittleren Terminüberschreitung mit der Prioritätsregel CONWAY 143

Bild 23: Maximierung der Kapazitätsauslastung der Maschinen mit der Prioritätsregel CONWAY 144

Tabellen

Tabelle 1: Zusammenstellung der verwendeten Prioritätsregeln 34

Tabelle 2: Prozesstypen von Bearbeitungsstationen in SIMTEX mit Beispielen 61

Tabelle 3: Aufträge im System bei Simulation mit der Prioritätsregel FCFS 121

Tabelle 4: Ergebnisse des Simulationslaufs mit der Prioritätsregel FCFS 123

Tabelle 5: Aufträge im System bei Simulation mit der Prioritätsregel KOZ 128

Tabelle 6: Ergebnisse des Simulationslaufs mit der Prioritätsregel KOZ 130

Tabelle 7: Aufträge im System bei Simulation mit der Prioritätsregel SCHLUPF 135

Tabelle 8: Ergebnisse des Simulationslaufs mit der Prioritätsregel SCHLUPF 137

Tabelle 9: Aufträge im System bei Simulation mit der Prioritätsregel CONWAY 140

Tabelle 10: Ergebnisse des Simulationslaufs mit der Prioritätsregel CONWAY 142

Output-Beispiele

Output-Beispiel des Programms JSTAT 96

Output-Beispiel des Programms JSTAT2 98

Output-Beispiel des Programms JSTAT3 100

Output-Beispiel des Programms MGSTAT 102

Beispiel eines Simulationslaufs mit Druckoption 104

Output-Beispiel des Programms FACSET 106

Output-Beispiel des Programms WMLAUF 108

Output-Beispiel des Programms JOBSET 111

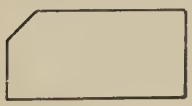
Erklärung der in den Flussdiagrammen verwendeten Symbole

Für die Darstellung der Flussdiagramme werden die folgenden Symbole angewendet:

Direkte Dateneingabe in das EDV-System
(Bildschirm, druckendes Terminal)

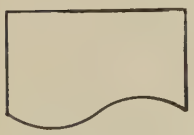
Berechnungen

Subprogramm

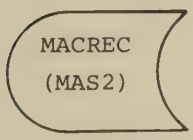


Dateneingabe über Lochkarten

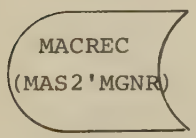
Logische Entscheidung



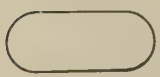
Druckausgabe auf Zeilendrucker



Sequentielle Datei
(Kanalnummer MAS2)



Direktzugriffsdatei
(Kanalnummer MAS2)



Symbol für Programmstart, -stop und Subroutine

Verbindungsanzeige

Richtung des Datenflusses

A. Theoretische Grundlagen

1. Problemstellung und Ziele der Arbeit

Die genaue Einhaltung von gegebenen Terminen sowie von möglichst kurzen Fristen bis zur Ablieferung von Kundenaufträgen sind täglich wiederkehrende Probleme der auftragsorientierten Unternehmungen. Je nachdem, mit welchem Gütegrad diese Probleme zu lösen sind, wird auch die Marktstellung eines Unternehmens beeinflussbar sein.

Eng verknüpft mit der Termineinhaltung ist die Festlegung der zeitlichen Reihenfolge der Bearbeitung von Aufträgen bei Werkstatt- und Gruppenfertigung. Reihenfolgeentscheidungen sind wegen der mit ihnen verbundenen, vielfältigen betriebswirtschaftlichen Auswirkungen von grosser Bedeutung. Neben der Beeinflussung der Fertigstellungstermine wird die Nutzung der verfügbaren Kapazität und das in der Fertigung gebundene Umlaufsvermögen determiniert. Darüber hinaus bestehen wechselseitige Beziehungen zur Fertigungsprogrammplanung, zur Grösse der zu bearbeitenden Aufträge, sowie Massnahmen zur Anpassung der Potentialfaktoren. Entsprechend der Bedeutung des Problems beschäftigen sich zahlreiche Arbeiten damit, Methoden und Verfahren der Reihenfolgeplanung zu untersuchen. Fast alle Untersuchungen, die sich mit der praktischen Anwendbarkeit von Reihenfolgeplanungen in Produktionsunternehmen beschäftigen, tun dies am Beispiel der metallverarbeitenden Industrie (1).

---

1) Malcolm D.G.: Bibliography on the Use of Simulation in Management Analysis, Operations Research, Heft 8, März 1960, S. 169-177
IBM, Bibliography on Simulation, Report 320-0924-0, White Plains, NY, 1966
NTIS, Production Planing and Scheduling - A Bibliography with Abstracts,
National Technical Information Service, NTIS / PS-75 / 863 Springfield, VA, 1975

Dem Verfasser ist es aufgrund seiner beruflichen Tätigkeit ein Anliegen, in dieser Arbeit die besonderen Probleme der Reihenfolge- und Terminplanung bei der auftragsorientierten Veredlung von textilen Flächengebilden zu untersuchen.

Ziel der Arbeit ist es, mit Hilfe eines Simulationsmodells eine simultane Reihenfolge- und Terminplanung für die Textillohnveredlungsindustrie zu erarbeiten. Im Rahmen dieser Zielsetzung soll ausserdem die Verwendbarkeit von Minicomputern für die Durchführung vom Simulationen behandelt werden, da in der modernen betrieblichen Datenverarbeitung immer mehr Netzwerke von dezentralisierten Minicomputern zum Einsatz kommen und es so denkbar erscheint, dass ein solcher auch für die Produktionsplanung zur Verfügung steht.

2. Die Stellung der Textillohnveredlung im Rahmen der Textilindustrie

2.1. Veredlung: Ein Produktionsabschnitt bei der Herstellung von Textilien

Zunächst soll definiert werden, was wir in dieser Arbeit unter dem Ausdruck "Textilien" verstehen wollen:
"Textilien sind morphologisch bestimmbare, gestaltete Gefüge aus verspinnbaren, längenbegrenzten Fasern und (oder) gezogenen, endlosen Fasern, die die Verspinnbarkeit als Eigenschaft aufweisen" (2).

Textilien im Sinne der obigen Definition werden in verschiedenen Produktionsabschnitten hergestellt. Dazu gehören in der Hauptsache:

- Spinnerei
- Weberei
- Wirkerei, Strickerei, Stickerei
- Veredlung.

Während sich die Spinnerei mit dem "filiformen (3) Zusammensetzen von Fasern (4)" oder einfach mit dem Fertigen eines Fadens beschäftigt, ist es Aufgabe der Weberei, aus den in der Spinnerei produzierten Fäden oder Garnen Gewebe herzustellen. Von den gewebten Textilien unterscheiden sich die Gewirke, die Strickwaren und Stickereien durch ihre bindungs- und gefügetechnische Definition.

---

2) Schnegelsberg G.: Systematik der Textilien, München 1971, S. 64
3) filiform: unter diesem Begriff versteht man geometrisch bestimmte Merkmale des Fadens
4) Schnegelsberg G.: Systematik ..., S. 56

Die Textilveredlung, die hier besonders angesprochen werden soll, hat die Aufgabe der Verbesserung der Gebrauchstüchtigkeit (beispielsweise: knitterfreie, fleckabweisende, flammhemmende, antistatische Ausrüstung) und der Veränderung des äusseren Erscheinungsbildes der Textilien (Farbe, Griff, Dichte, Glanz) (5).

Die Veredlungstätigkeit wird normalerweise in folgenden Produktionsabteilungen durchgeführt (6):

- Bleicherei
- Färberei
- Druckerei
- Appretur

Beim Bleichen werden die Textilien auf dazu geeigneten Maschinen und Anlagen mittels chemischer Prozesse aufgehellt oder entfärbt. Dies kann durch oxydierend, reduzierend oder adsorptiv wirkende Bleichvorgänge oder durch optische Aufhellung (7) erreicht werden.
Zum Färben von Textilien werden mit kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Prozessen synthetische Farben in wässriger Lösung auf die Textilien aufgebracht.
In der Druckerei werden Textilien mit verschiedenerlei Farben mit Hilfe diverser Verfahren bedruckt, wobei das Wesen des Vorganges in der "mustergemässen örtlichen Anfärbung oder Farbzerstörung" liegt (8).

---

5) Bernard W.: Praxis des Färbens und Bleichens von Textilien, Berlin-Heidelberg-New York 1966, S. 1
6) Peter M.: Grundlagen der Textilveredlung, Wuppertal-Eberfeld 1964, S. 64, 99, 206, 235
7) Unter "optischen Aufhellern" versteht man chemische Verbindungen, mit deren Hilfe vergilbte Gewebe auf optischem Wege gebleicht werden. Die optisch vorgetäuschte Bleichwirkung kommt dadurch zustande, dass die im UV-Bereich absorbierenden Stoffe in der Komplementärfarbe der gelblichen Tönung, d.h. bläulich, fluoreszieren.
8) Rath H.: Lehrbuch der Textilchemie, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1963, S. 573

Als Appretur hingegen bezeichnet man Arbeitsprozesse und Verfahren zum Weich-, Griffig-, Fülligmachen, Beschweren und Versteifen von textilen Flächengebilden, im weiteren Sinne auch das Flammfest-, Wasserabweisend- und Wasserdichtmachen. Darüber hinaus gibt es eine schmutzabweisende Fungizid- und Bakterizidappretur zur Erzielung verrottungs- und fäulnisbeständiger Textilien, die Mottenecht- und Filzfreiappretur von Wollgeweben, das Nachmattieren von Textilien, Maschen- und Schiebefestausrüstungen von Chemiefasertextilien sowie die Verfahren der Schrumpfecht-, Knitterecht- und Nassknitterechtappretur. Endlich können waschbeständige und chemisch reinigungsbeständige Appreturefffekte erzielt werden, um nur einige der Möglichkeiten aufzuzählen, die mittels Appretur erreicht werden (9).

Fertigungstechnisch sind diese Produktionsabteilungen in der Regel als Werkstatt- und Gruppenfertigung, im Fall der Grossproduktion als Strassenfertigung organisiert. Wir wollen im Rahmen dieser Arbeit die genannten Fertigungstypen wie folgt definieren:

- Werkstattfertigung: Fertigung, bei der Maschinen und Arbeitsplätze in einer fertigungstechnischen Einheit zusammengefasst sind (10).
- Gruppenfertigung: Produktionsmittel, die für bestimmte Fertigungsgänge erforderlich sind, werden zu Gruppen vereinigt, um bestimmte Nachteile der Werkstattfertigung (lange Transportwege, Zwischenlagerungen, langsamer Durchfluss) zu vermeiden (11).
- Strassenfertigung: Maschinen und Arbeitsplätze sind in der Reihenfolge des Produktionsflusses angeordnet, es fehlt jedoch der Zeitzwang für die Teilverrichtung und somit auch ihre vollkommene zeitliche Abstimmung (12).

---

9) Brockhaus, Chemie-Lexikon, Leipzig 1965, S. 101
10) Heinen E.: Industriebetriebslehre, Wiesbaden 1972, S. 255
11) Wöhe G.: Einführung in die allgem. Betriebswirtschaftslehre, München 1970, S. 192
12) Heinen E.: Industriebetriebslehre, ..., S. 257

2.2. Lohnveredlung: Textilveredlung mit auftragsorientierter Produktion

Nachdem im vorhergehenden Abschnitt die Stellung der Textilveredlung, ihre Tätigkeit und fertigungstechnische Organisation innerhalb des Herstellungsprozesses von Textilien kurz umrissen wurde, soll nun die Abgrenzung der auftragsorientierten Lohnveredlung zu anderen Veredlungsbetrieben vorgenommen werden. Von auftragsorientierter Fertigung oder Kundenproduktion soll im folgenden gesprochen werden (13), wenn die Produktion für einen ganz bestimmten Kunden durchgeführt wird.

Die Textilveredlungsbetriebe gliedern sich in drei Gruppen:

1. Abteilung eines Vertikalunternehmens, das Textilerzeugnisse von der Faser bis zur fertigen Web- und Wirkware oder sogar bis zum konfektionierten Gegenstand herstellt;
2. Eigenveredler, ein selbständiger Betrieb, der Web- und Wirkwaren roh kauft und in veredeltem Zustand weiterverkauft;
3. Lohnveredler, ein selbständiger Betrieb, der lediglich die ihm vom Auftraggeber übergebene, also fremde Ware gegen Lohn (auftrags- oder kundenorientiert) veredelt (14).

Neben dieser Abgrenzung bestehen noch weitere Merkmale der Lohnveredlung. So erfordert sie einen umfangreichen Maschinenpark, der jedoch nur in seltenen Fällen voll ausgenutzt werden kann. Ein wesentlicher Teil desselben steht oft unbenutzt in Bereitschaft, um den Kunden bei modebedingtem Wechsel von Textilien bzw. gewünschten Ausrüstverfahren jederzeit zur Verfügung zu stehen. Dies erfordert relativ höhere Investitions- und Unterhaltskosten als dies bei Eigenveredlung der Fall ist. Ein weiterer Punkt sind die in den letzten Jahren immer kürzer gewordenen Lieferfristen und Auftragshorizonte. So ist es möglich, dass ein Lohnausrüster seinen Auftragsbestand nur über einen

---

13) Riebel P.: Typen der Markt- und Kundenproduktion in produktions- und absatzwirtschaftlicher Sicht, in ZfbF, 17. Jahrgang, 1965, S. 666

14) Peter M.: Grundlagen der Textilveredlung, Wuppertal-Eberfeld 1964, S. 2

Zeitraum von wenigen Tagen kennt und die Aufträge nach Eintreffen in kürzester Frist (oft 2-10 Arbeitstage) dem Auftraggeber wieder abzuliefern sind.
Dies erschwert die Planung für die Teilbereiche der Unternehmung im allgemeinen und die Reihenfolge- und Terminplanung im besonderen und ist Anlaß dafür, eine Reihenfolge- und Terminplanung speziell für kurzfristige Planungshorizonte zu entwickeln.

Drei Planungsbereiche gehören zur Produktionsplanung industrieller Unternehmen:

- Programmplanung
- Bereitstellungsplanung
- Reihenfolge- und Terminplanung

Die Programmplanung beschäftigt sich längerfristig damit, Produkt- oder Leistungsangebote einer Unternehmung festzulegen. Kurzfristig entscheidet sie darüber, welche Erzeugnisse oder Leistungen in welchen Mengen bei festgelegtem Produktionsmittelbestand im Betrachtungszeitraum hergestellt oder angeboten werden sollen (19). Bei der auftragsorientierten Unternehmung reduziert sich diese Entscheidung kurzfristig meist auf die Frage, welche Aufträge angenommen, welche abgelehnt werden sollen.

Aufgabe der Bereitstellungsplanung ist es, die kurzfristige Bereitstellung der betrieblichen Produktionsfaktoren zur Durchführung des Kombinationsprozesses sicherzustellen (20).

Die Reihenfolgeplanung legt die Bearbeitungsfolge der Aufträge auf den Produktionsmitteln fest. Sie ist eng verknüpft mit der Terminplanung, welche die Aufgabe hat, den einzelnen Aufträgen Fertigstellungstermine zuzuordnen. Für den Spezialfall der Auftragsfertigung, wie er für die Textillohnveredlung gegeben ist, werden in den folgenden Abschnitten Reihenfolge- und Terminplanung eingehend behandelt.

Die oben angeführten Teilbereiche der Produktionsplanung bilden eine Einheit. "Planungsfehler in einem Teilgebiet dieses Planungssystems gefährden den Vollzug der Produktionsplanung in ihren anderen Teilbereichen (21)".

---

19) Czeranowsky G.: Programmplanung bei Auftragsfertigung, Wiesbaden 1974, S. 3
20) Gutenberg E.: Die Produktion, Berlin-Heidelberg-New York 1972, S. 171
21) Gutenberg E.: Die Produktion, ..., S. 149

3.3. Die Reihenfolgeplanung bei Auftragsfertigung

3.3.1. Zum Begriff der Reihenfolgeplanung

Da Planung stets auf die Herstellung von Ordnungen abzielt (22), soll von dieser Funktion her für die Definition der Reihenfolgeplanung ausgegangen werden. Eine Reihenfolgeplanung wird durchgeführt, um für die Fertigung die räumlich-zeitliche Zuordnung von Aufträgen zu den Potentialfaktoren festzulegen. Diese Zuordnung kann in drei Planungsstufen erfolgen (23).

1. Grobplanung: Es wird festgestellt, durch welche Kostenstellen bzw. Produktionsabteilungen die einzelnen Kundenaufträge laufen (in der Textillohnveredlung beispielsweise: Bleicherei - Färberei - Appretur).

2. Globale Planung der Reihenfolge: Hier wird die Bearbeitung der einzelnen Aufträge an den einzelnen Maschinengruppen einer Abteilung festgelegt. (Beispiel aus der Textillohnveredlung: ... - Färbehaspelkufen - Schleudern - ... - Spannrahmen - ...)

3. Detaillierte Planung der Reihenfolge: Sie gibt Auskunft,

   wann
   welcher Auftrag
   auf welcher Maschine

   bearbeitet wird (24). (Beispiel aus der Textillohnveredlung: Auftrag Nr.17358 wird zum Zeitpunkt T = 420 min. nach Arbeitsbeginn auf Druckmaschine Nr.3 zu bedrucken begonnen.) In dieser letzten Stufe der Reihenfolgeplanung konvergiert der Zeitraum der Termineinheit zu einem Zeitpunkt.

---

22) Siehe Seite 9: "Die Unternehmensplanung"
23) Hoch P.: Betriebswirtschaftliche Methoden und Zielkriterien der Reihenfolgeplanung bei Werkstatt- und Gruppenfertigung, Frankfurt/M.-Zürich 1973, S. 16
24) Müller-Merbach M.: Optimale Reihenfolgen, Berlin 1970, S. 172 Vergleiche auch: Hoss K.: Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden, Würzburg-Wien 1965, S. 3

Diese Arbeit beschäftigt sich im folgenden nur mit der detaillierten Planung der Reihenfolge von Aufträgen.

3.3.2. Das "Dilemma der Ablaufplanung" im Rahmen der Reihenfolgefestlegung bei Auftragsfertigung

In der Literatur (25) wird besonders auf das "Dilemma der Ablaufplanung" hingewiesen. Dieses entsteht dadurch, dass der Forderung nach Minimierung der Durchlaufszeit der Aufträge die Forderung der möglichst geringen Leerzeiten der Produktionsmittel gegenübersteht. Dieses Ablaufplanungsdilemma existiert für die Reihenfolgeplanung bei Auftragsfertigung nicht. Da die Kapazitätsauslastung in einem funktionalen Zusammenhang zu den Eingängen von Aufträgen steht, ist es notwendig zu unterscheiden, ob der Auftragseingang seinerseits durch die Reihenfolgeplanung beeinflusst werden kann oder nicht. Für die Textillohnveredlung kann gefolgert werden, dass die Verkürzung der Lieferfristen der Aufträge durch eine verbesserte Reihenfolgeplanung dem Unternehmen einen zusätzlichen "Goodwill" (26) schafft, der dazu führen wird, dass von den Kunden vermehrt Aufträge erteilt werden bis die Lieferfristen durch den vergrösserten Auftragsrahmen wieder zunehmen. Es soll im folgenden davon ausgegangen werden, dass der Auftragseingang durch eine geeignete Reihenfolgeanordnung bei der Bearbeitung der Aufträge beeinflusst werden kann, wobei von anderen Faktoren, die auf die Auftragslage wirken, wie Preise und Konditionen abstrahiert werden soll beziehungsweise diese "ceteris paribus" (27) behandelt werden sollen.

---

25) Gutenberg E.: Die Produktion, Berlin-Heidelberg-New York 1972, S. 216

26) "Goodwill" = originärer Firmenwert. In ihm kommen verschiedene Faktoren zum Ausdruck, die einen Einfluss auf den Erfolg eines Unternehmens haben. Dazu gehört auch unter anderem die äussere und innere Organisation. Siehe dazu: Wöhe G.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, München 1970, S. 440

27) "ceteris paribus": Unter diesem lateinischen Ausdruck versteht man in der Nationalökonomie, dass bei der Untersuchung einer Variablen in einem Modell alle "übrigen Teile" (Variablen) nicht gleichzeitig verändert werden dürfen, sondern konstant gehalten werden müssen.

3.3.3. Textillohnveredlung: Ein System mit Reihenfolgeplanung bei Auftragsfertigung

Die Textillohnveredlung soll in bezug auf die Ablaufkriterien der Produktion als System betrachtet werden.
Ein System ist eine Gesamtheit von Elementen, zwischen denen Beziehungen bestehen (28). Der Textillohnveredlungsbetrieb stellt ein reales System dar, das aus einer Menge von realen Gegenständen (Maschinen, Anlagen, Aufträge) gebildet wird. Diese besitzen die Eigenschaft, eine zeitlich verfolgbare Geschichte zu haben. Diese Eigenschaft führt zur Definition von zeitablaufbezogenen Systemen: "Lässt sich eine gegebene Anzahl von Gegenständen mit Mengen M_i aller möglichen Zustandsgeschichten von Eigenschaften dieser Gegenstände und einer Relation R, die eine Teilmenge aller Kombinationen dieser möglichen Zustandsgeschichten ist, identifizieren, so erhält man ein zeitablaufbezogenes System" (29). Als solches soll der Textillohnveredlungsbetrieb betrachtet werden, wobei Maschinen, Anlagen und Aufträge die Gegenstände darstellen, deren Zustandsgeschichten im Zeitablauf verfolgt werden sollen.
Die bestimmenden Merkmale dieses Systems sollen sein:

- geschlossen
- deterministisch
- maschinenlimitiert

Der Textillohnveredlungsbetrieb soll auch als geschlossenes System oder Rückkopplungssystem angesehen werden, da er durch sein eigenes Verhalten in der Vergangenheit beeinflusst wird. Der Veredlungsprozess wird in diesem Sinne als Regelstrecke definiert. Als Stellgrösse dazu dient die Anordnung der Reihenfolgen der zu bearbeitenden Aufträge. Ist das Verhalten des Systems "Textillohnveredlung" durch zu lange Lieferfristen gekennzeichnet, so wird mit Hilfe der Reihenfolgeplanung die Anordnung der

---

28) Vergleiche dazu: Forrester J.W.: Grundzüge einer Systemtheorie, Wiesbaden 1972
29) Witte T.: Simulationstheorie und ihre Anwendung auf betriebliche Systeme, Wiesbaden 1973, S. 9

Aufträge dermassen verändert, dass sich Auswirkungen auf die Liefertermine ergeben. Dieser Vorgang muss täglich wiederholt werden, da sich die Zusammensetzung der zu bearbeitenden Aufträge bei Auftragsfertigung laufend ändert und somit auch die Reihenfolgen, die zu akzeptablen Lieferterminen führen. Dies impliziert, im Gegensatz zu anderen betrieblichen Systemen, eine täglich zu wiederholende Reihenfolgeplanung.

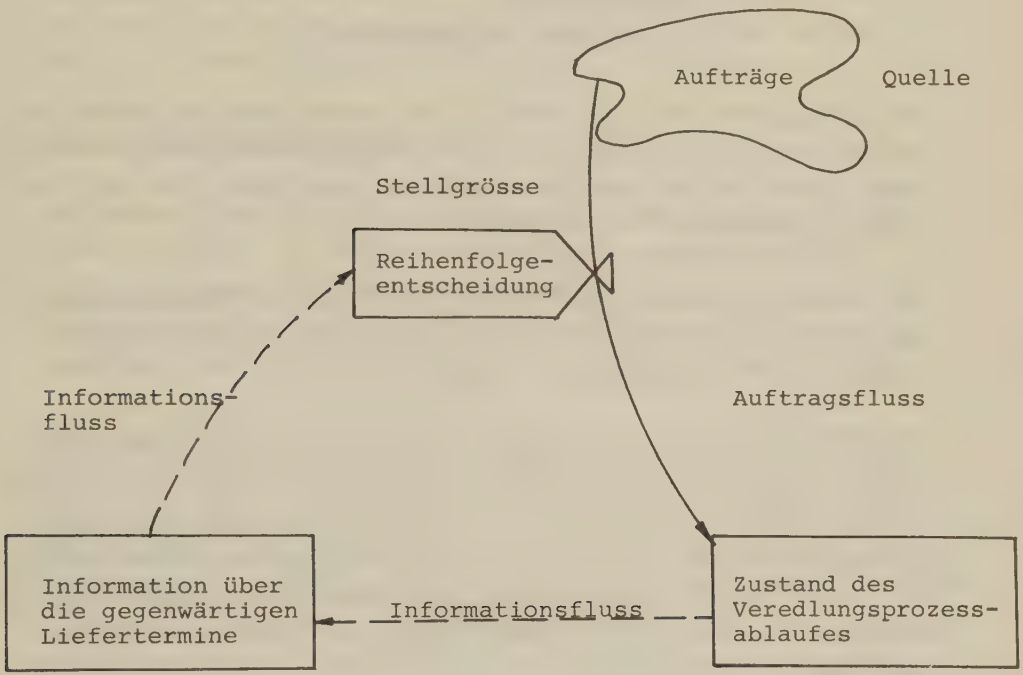


Bild 1: Der Textillohnveredlungsbetrieb als Rückkopplungssystem, dargestellt mit DYNAMO - Symbolen.

Eine deterministische Entscheidungssituation für die Reihenfolgeplanung ist gegeben, weil alle wichtigen Parameter bekannt sind:

- die Aufträge, die bearbeitet werden sollen
- die Ankunftszeiten der Aufträge
- die Bearbeitungsfolge auf den Potentialfaktoren
- die Bearbeitungs- und Rüstzeit an den Bearbeitungsstellen
- der Soll-Fertigungstermin

Schliesslich handelt es sich um ein System, das nur durch die Anzahl der zur Verfügung stehenden Maschinen begrenzt ist. In einer maschinenlimitierten Produktion sind stets für alle Maschinen Arbeitskräfte verfügbar.

Von diesem so definierten System eines Textillohnveredlungsbetriebs ausgehend wird nun die Aufgabe der Reihenfolgeplanung bei Auftragsfertigung dargestellt.

Eine Planung der Bearbeitungsfolge von Aufträgen an einer Maschine, Anlage oder Bearbeitungsstelle wird notwendig, wenn es an derselben zu einer Warteschlangenbildung kommt. Eine Warteschlange entsteht, wenn das Zeitintervall zwischen den Ankünften zweier aufeinanderfolgender Aufträge an dieser Bearbeitungsstelle kürzer ist als die Bearbeitungszeit des zuerst eingetroffenen Auftrags (30).

Es sei:

t: Zeitpunkt, in welchem der (n - 1)te Auftrag an einer Bearbeitungsstelle m ($m < n$) fertiggestellt wird.

W_m: Warteschlange vor Bearbeitungsstelle m

N_m: Gesamte Anzahl der von der Bearbeitungsstelle m zu bearbeitenden Aufträge.

---

30) Ellinger Th.: Durchlaufszeit. In: Handwörterbuch der Organisation, herausgeg. von E. Grochla, Stuttgart 1969, Sp.461

Die Reihenfolgeplanung gibt nun an, welcher Auftrag i, $i \in W_m^t$, als n-ter Auftrag bearbeitet werden soll $(1 \leq n \leq N_m)$.

3.3.4. Zielkriterien der Reihenfolgeplanung bei Auftragsfertigung

Nachdem die Grundlagen und Begriffe der Reihenfolgeplanung abgeklärt sind, sollen nun die Ziele untersucht werden, die in der Textillohnveredlung mit dem Einsatz der Reihenfolgeplanung angestrebt werden.

3.3.4.1. Abgrenzung der Begriffe

"Allgemein gibt ein Ziel einen zukünftigen Zustand der Unternehmung wieder, der als erstrebenswert angesehen wird"(31). Ziele sind aber oft nicht vollständig, sondern nur mit einem gewissen Grad der Zielerfüllung erreichbar. Der Bewertungsmassstab dazu wird Zielkriterium oder Zielvariable genannt.

Ziele in Unternehmungen stehen meist nicht für sich allein, sondern sind zusammengefasst in Zielsystemen. In diesen wird das Verhältnis von Zielen zueinander durch verschiedenartige Beziehungen (32) gekennzeichnet. Ziele, wie sie mit der Reihenfolgeplanung verfolgt werden sind Subziele oder Mittel zur Erreichung der übergeordneten Unternehmungsziele. Diese Subziele können konfliktär, komplementär oder indifferent zu anderen Subzielen oder zu übergeordneten Zielen sein.

"Zwei Ziele sind dann konfliktär, wenn eine Steigerung in der Erfüllung des einen Ziels die Erreichung des anderen Ziels mindert. Eine komplementäre Beziehung zwischen zwei Zielen liegt vor, wenn eine Steigerung der Erfüllung des einen Ziels zugleich auch eine Erhöhung der Erfüllung des anderen Ziels bedeutet. Von einem indifferenten Verhältnis zwi-

---

31) Heinen E.: Das Zielsystem der Unternehmung, Wiesbaden 1966, S. 45
32) Heinen E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1972, S. 101-106

schen Zielen kann dagegen gesprochen werden, wenn die Erfüllung des einen Ziels keinen Einfluss auf die Erfüllung eines anderen Ziels hat" (33).

3.3.4.2. Die übergeordneten Ziele der Unternehmung

Da die Entscheidungsträger den Unternehmungszielen unterschiedliches Gewicht beimessen, ist ein allgemeingültiges System übergeordneter Ziele nicht aufstellbar. Deshalb werden hier nur einige der langfristigen Zielsetzungen aufgezählt, die allgemein Gültigkeit haben, ohne Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben:

- Wachstum
- Sicherheit
- Gewinnmaximierung
- Beibehaltung der Selbständigkeit
- Pflege der Tradition
- Wohlergehen der Belegschaft
- Überleben im Konkurrenzkampf (34)

Mehrere dieser Ziele werden von den Unternehmungen meist gleichzeitig angestrebt, doch wird die Gewinnmaximierung an erster Stelle stehen, damit die Unternehmung die anderen Unternehmensziele finanzieren können wird (35).

3.3.4.3. Das Zielsystem der Reihenfolgeplanung bei Auftragsfertigung

Die Ziele der Produktionsplanung, die Subziele der Unternehmungsplanung darstellen, sind darauf ausgerichtet, die vom Kunden gewünschten Produkte bzw. Bearbeitungen von Produkten in der auftragsgemässen Menge zum richtigen Termin fertigzustellen. Die Einhaltung möglichst tiefer Gesamtkosten muss dabei beachtet werden. Um den Zielen der Produktionsplanung zu genügen, wird das Zielsystem der Reihenfolgeplanung neben dem der Programm- und Bereitstellungsplanung eingesetzt.

---

33) Heinen E.: Industriebetriebslehre, Wiesbaden 1972, S 45 ff.
34) Korndörfer W.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1970, S. 72 ff.
35) Korndörfer W.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, ..., S. 73

3.3.4.3.1. Mögliche Ziele der Reihenfolgeplanung

Die Zielkriterien der Reihenfolgeplanung können in drei Hauptgruppen eingeteilt werden:

- auftragsbezogene Ziele
- bearbeitungsstellenbezogene Ziele
- sonstige Ziele

3.3.4.3.1.1. Auftragsbezogene Ziele

Hier sind die Ziele für die Durchlaufzeit der Aufträge zu nennen, die mit den Zielen für die Wartezeit der Aufträge verbunden sind.

Zeitbezogene Zielkriterien dafür sind:

- minimale Summe der Durchlauf- bzw. Wartezeiten
- minimale Gesamtwartezeit
- minimaler Erwartungswert der Durchlauf- bwz. Wartezeit
- minimale Standardabweichung der Durchlaufzeit

Kostenbezogene Zielkriterien sind:

- minimale Wartekosten für die Zwischenlagerung
- minimale Opportunitätskosten der Wartekosten
- minimale Gesamtbearbeitungskosten
- minimale Zahl der in der Produktion gebundenen Aufträge

3.3.4.3.1.2. Bearbeitungsstellenbezogene Ziele

Diese Ziele können in kapazitätsbezogene Ziele und in maschinenkostenbezogene Ziele unterteilt werden.

Kapazitätsbezogene Zielkriterien sind:

- minimale Summe der Maschinenleerzeiten
- minimale Gesamtbelegungszeit

- gleichmässige Kapazitätsauslastung
- minimale Wartezeit
- minimale Durchlaufzeit
- maximale Kapazitätsauslastung der Werkstätten

Zielkriterien in bezug auf die maschinengebundenen Kosten sind:

- minimale Summe der Maschinenleerkosten
- minimale Opportunitätskosten der Maschinenleerzeiten
- Einsatz der kostengünstigsten Maschinen (36)

3.3.4.3.1.3. Sonstige Ziele

Darunter sind Ziele zu verstehen, die mit der Reihenfolgeplanung im Zusammenhang stehen.

Zielkriterien sind:

- minimale Schadenshäufigkeit bei den Aufträgen
- maximale Zufriedenstellung der Belegschaft
- minimale maschinenbedingte Störungen

Alle Ziele, die in den drei vorangehenden Abschnitten genannt wurden, stehen zueinander in konfliktärer, komplementärer oder indifferenter Beziehung (37). Die Beziehungsstruktur soll nur für die Ziele, die für die Textillohnveredlung relevant sind, untersucht werden (Abschnitt 3.3.4.3.2.).

---

36) Vergleiche: Sägesser R.: Analytische und heuristische Methoden zur Lösung des Reihenfolgeproblems mit besonderer Berücksichtigung der Werkstattfertigung, Diss. HSG St. Gallen 1976

37) Siehe dazu: 3.3.4.1. Abgrenzung der Begriffe

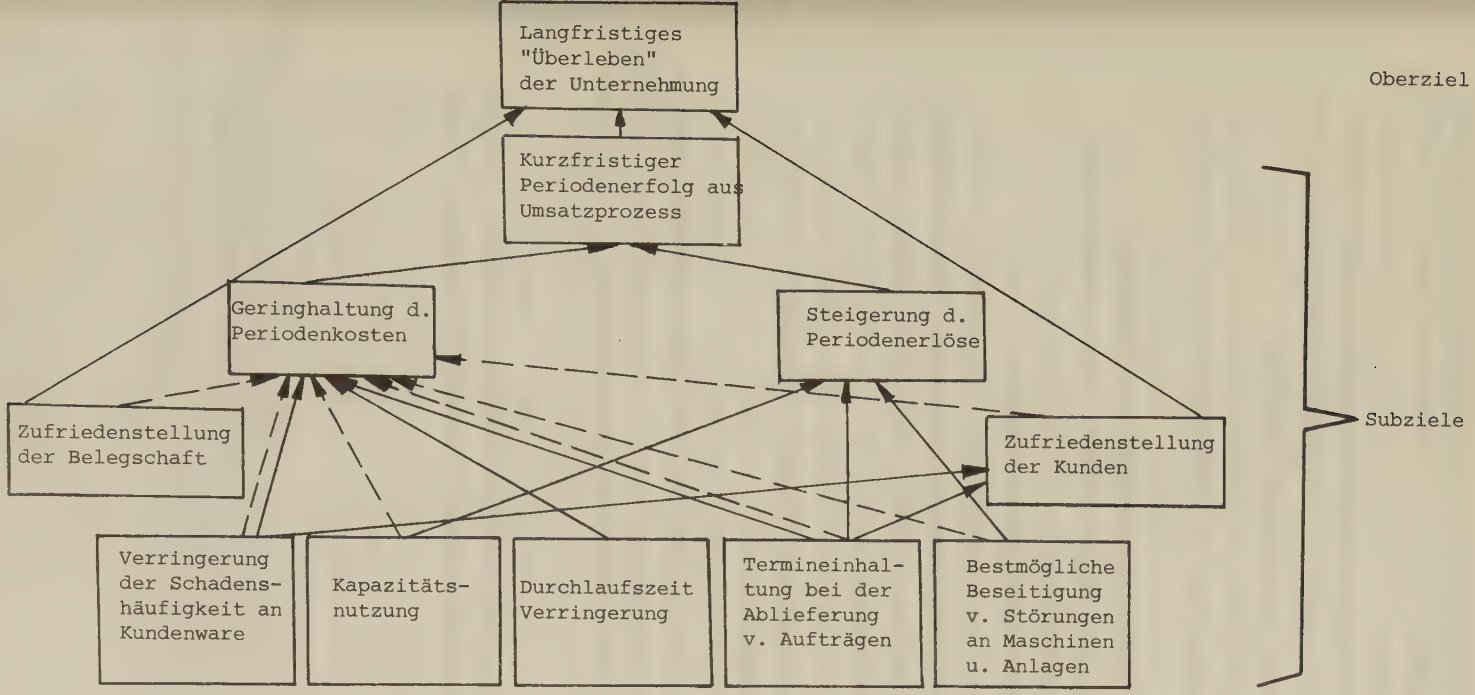


Bild 2: Das Zielsystem der Reihenfolgeplanung bei Auftragsfertigung

——→ Komplementäre Ziele

— — → Konfliktäre Ziele

3.3.4.3.2. Einschränkung der Ziele für ein Modell der Textillohnveredlungsindustrie

Um die wichtigsten Ziele der Textillohnveredlungsindustrie definieren zu können, muss von den spezifischen Produktions- und Konkurrenzmerkmalen ausgegangen werden.

Spezifische Merkmale der Textillohnveredlung sind:

- kunden- oder auftragsorientierte Produktion
- Rohstoffe (die zu bearbeitenden Textilien) werden von Kunden gestellt
- oligopolistische Konkurrenzsituation (38)

Aus diesen Merkmalen können zwei Zielgruppen, die für die Textillohnveredlung relevant sind, abgeleitet werden, und zwar in dieser Reihenfolge:

1. Ziele zur Zufriedenstellung der Kunden
2. innerbetriebliche Ziele

Ziele zur Zufriedenstellung der Kunden sind neben den hier abstrahierten sonstigen Anreizfaktoren terminorientiert. Solche Ziele werden ihrer Bedeutung wegen in Abschnitt 3.4.2. gesondert behandelt.

Die innerbetrieblichen Ziele der Textillohnveredlung stellen eine Untermenge der in Abschnitt 3.3.4.3.1. genannten Ziele dar.

---

38) Eine oligopolistische Konkurrenzsituation besteht dann, wenn der Absatz eines Unternehmens nicht nur von seinen eigenen marktpolitischen Entscheidungen, sondern auch vom Verhalten der Nachfrager bestimmt wird.
Siehe dazu: Wöhe G.: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre, München 1970, S. 285

Für die auftragsbezogenen Ziele der Textillohnveredlung gilt, dass die kostenbezogenen Zielkriterien vernachlässigbar sind, da die Kunden durch Übergabe der Ware an den Veredler die zu erwartenden Zeitkosten bei Termineinhaltung als annehmbar betrachten.

So werden für das im folgenden behandelte Modell diese auftragsbezogenen Ziele ausgewählt und als relevant angesehen:

- minimale Summe der Durchlauf- bzw. Wartezeiten (=Gesamtbearbeitungszeit)
- minimale Standardabweichung der Durchlauf- bzw. Wartezeiten.

Von den bearbeitungsstellenbezogenen Zielen sollen für die Textillohnveredlung die wichtigsten ausgewählt werden, die in der Praxis verfolgbar sind. Allerdings bilden sie nach dem in Abschnitt 3.3.2. Gesagten nur eine Resultante, die bei Erfüllung der auftragsbezogenen Ziele betrachtet wird. Eine weitere Einschränkung erfahren diese Ziele, da im dargestellten Modell (Abschnitt 6.2.1.) von den maschinengebundenen Kosten abstrahiert wird. So werden im folgenden noch diese kapazitätsbezogenen Zielkriterien für das Modell behandelt:

- Kapazitätsauslastungsgrad der Maschinen, Maschinengruppen und des gesamten Betriebs
- Leerzeit der Maschinen
- Belegungszeit der Maschinen
- zur Verfügung stehende Arbeitszeit der Maschinen.

Auch von den auf Seite 18 genannten sonstigen Zielen muss für ein Simulationsmodell abstrahiert werden. Sie gelten zwar uneingeschränkt auch für die Textillohnveredlungsindustrie, können aber für eine praktikable Reihenfolge- und Terminplanung nicht berücksichtigt werden.

3.4. Die Terminplanung bei Auftragsfertigung

3.4.1. Aufgaben der Terminplanung bei Auftragsfertigung

Bei marktorientierter Fertigung spielen die Liefertermine meist keine entscheidende Rolle. Im Gegensatz dazu ist der Liefertermin der einzelnen Produkte bzw. für Veredlungen von Produkten bei der auftragsorientierten Fertigung ein feststehendes Datum, für dessen Festlegung die im betreffenden Markt herrschenden Verhältnisse massgebend sind.

Aufgabe der Terminplanung ist es, jedem Auftrag einen Zeitpunkt, an dem er fertiggestellt sein soll, zuzuordnen. Dies ist mit einiger Genauigkeit nur möglich, wenn es gelingt, die Durchlaufzeit eines Auftrages zu bestimmen.

Die Durchlaufzeit D_n, die sich aus den Einzeldurchlaufzeiten d_{nm} zusammensetzt, benötigt ein Auftrag n, $n \in N$, um durch die Bearbeitungsstelle m, $m \in M_n$, hindurchzulaufen:

$$D_n = \sum_{m \in M_n} d_{nm} \; ; \quad M_n \leq M$$

Hierbei ist M_n die Menge der Bearbeitungsstellen, an denen der Auftrag n bearbeitet wird. M stellt die Menge der insgesamt vorhandenen Bearbeitungsstellen dar.

Die Zeit, die ein Auftrag n benötigt, um eine Bearbeitungsstelle zu durchlaufen, hängt vom Bearbeitungsbeginn t_b und von der Fertigungszeit t_f an der Bearbeitungsstelle m ab (39). Zum Bearbeitungsbeginn t_b kann es aber erst kommen, wenn ein Auftrag n

---

39) Es wird hier und im folgenden angenommen, dass die Rüstzeiten an den Bearbeitungsstellen von der Reihenfolge der zu bearbeitenden Aufträge unabhängig und in den Fertigungszeiten enthalten sind.

zum Zeitpunkt t_w die Warteschlange W_m betritt und somit im System "Warteschlange - Bearbeitungsstelle" zugegen ist. Bei gegebener Fertigungszeit t_f ist die Einzeldurchlaufzeit d_{nm} eines Auftrages n somit durch die Zeitpunkte seines Betretens der Warteschlange t_w und durch die seines Bearbeitungsbeginns t_b an der Bearbeitungsstelle m determiniert.

Um den genauen Fertigstellungstermin eines Auftrages n im Zeitpunkt des Betretens der Eingangswarteschlange des Betriebs t_{an} zu bestimmen, ist es notwendig, die Zeitpunkte des Bearbeitungsbeginns t_{bn}, m = 1, ..., M_n an allen Bearbeitungsstellen m zu kennen. Eine Voraussage des Bearbeitungsbeginns eines Auftrages n an einer Bearbeitungsstelle m ist jedoch nur dann möglich, wenn der genaue Zeitpunkt t_w seines Eintritts in die Warteschlange W_m, die Fertigungszeiten der anderen zu diesem Zeitpunkt in der Warteschlange W_m befindlichen Aufträge und die Reihenfolge, in der diese Aufträge bearbeitet werden, bekannt sind. Diese Voraussage ist im Fall der Textillohnveredlung jedoch nicht möglich, da die Aufträge unterschiedliche Bearbeitungsreihenfolgen auf den Bearbeitungsstellen m aufweisen und auch eine Bearbeitung in der Reihenfolge der Ankünfte (first come, first served) nicht notwendigerweise gegeben ist. Die Warteschlangen W_m, m = 1, ..., M_n können deshalb auch Aufträge enthalten, die im Zeitpunkt t_{an} noch nicht im Betrieb anwesend waren. Aus diesem Grunde können die Zeitpunkte des Bearbeitungsbeginns eines Auftrages zum Zeitpunkt t_{an} an den Bearbeitungsstellen m nicht ermittelt werden. Für diesen Fall kann die Durchlaufzeit D_n eines Auftrages und damit auch der Zeitpunkt seiner Fertigstellung nicht exakt bestimmt werden. Deshalb geht die folgende Simulationsstudie davon aus, dass zum Zeitpunkt des Simulationslaufs alle Aufträge für einen Arbeitstag in der Eintrittswarteschlange des Betriebes eingetroffen sind. Unter dieser Bedingung ist die Möglichkeit einer Voraussage der Fertigstellungstermine der Aufträge unter Zuhilfenahme des folgenden Modells zu untersuchen.

3.4.2. Ziele der Terminplanung bei Auftragsfertigung

Die Ziele der Terminplanung können in zeitbezogene und kostenbezogene Ziele eingeteilt werden.

Zeitbezogene Zielkriterien sind:

- minimale maximale Verspätung eines Auftrages
- minimale Summe der Verspätungen
- minimale "zu frühe" Fertigstellung eines Auftrages
- minimale Soll-Terminabweichung

Kostenbezogene Zielkriterien sind:

- minimale Anzahl der verspäteten Aufträge
- minimale Schadenskosten aus Terminverspätungen
- maximale Anzahl der zum Soll-Termin fertiggestellten Aufträge ergibt maximalen Gesamtgewinn (40)

Bei Auftragsfertigung gelten alle oben angeführten Zielkriterien, wobei für den Spezialfall eines Simulationsmodells der Textillohnveredlung nur die zeitbezogenen Zielkriterien behandelt werden.

Wie schon in Abschnitt 3.3.2. angeführt, soll angenommen werden, dass die Fertigstellungstermine einen Einfluss auf den künftigen Auftragseingang besitzen. Unter dieser Annahme kann gefolgert werden, dass der Auftragseingang umso grösser ist, je kürzer die Lieferfristen angesetzt sind und umgekehrt. Deshalb wird in ei-

---

40) Sägesser R.: Analytische und heuristische Methoden zur Lösung des Reihenfolgeproblems mit besonderer Berücksichtigung der Werkstattfertigung, Diss. HSG St. Gallen 1976, S. 7 und Hoch P.: Betriebswirtschaftliche Methoden und Zielkriterien der Reihenfolgeplanung bei Werkstatt- und Gruppenfertigung, Frankfurt/M.-Zürich 1973, S. 60 ff

nem auftragsorientierten Unternehmen die Tendenz bestehen, für potentielle Aufträge möglichst kurze Lieferfristen zu nennen. Dies führt aber zu einer Zunahme der Häufigkeit von Terminüberschreitungen, die wiederum den Auftragsbestand negativ beeinflussen dürften. So wird aus diesem Aspekt die Neigung der Unternehmung zur Abgabe von eher längeren Lieferfristen ableitbar.

Die optimale Terminfestsetzung bei Auftragsfertigung ist somit abhängig von:

- der Reaktion der Kunden auf die ihnen angebotenen Lieferfristen und
- den Terminüberschreitungen in Zahl und Länge.

Da Textillohnveredlungsbetriebe mehrstufige Produktionsunternehmen sind, ist auch die Festlegung von Zwischenterminen in den einzelnen Produktionsstufen von Interesse. Diese haben Einfluss auf die Erreichung der in der Auftragsfertigung dominierenden Ziele der Minimierung der mittleren Durchlaufzeit und der Minimierung der mittleren Terminüberschreitungszeit der Aufträge. Durch die Verringerung der mittleren Zwischendurchlaufzeiten tritt eine Verminderung der mittleren Gesamtdurchlaufzeit ein, andererseits aber nimmt die Standardabweichung der Durchlaufzeiten zu. In bezug auf die mittlere Terminüberschreitungszeit der Aufträge ergeben sich aus der Verkürzung der Zwischentermine zwei gegenläufige Auswirkungen: Die Verminderung der mittleren Durchlaufzeit bewirkt eine Senkung der mittleren Terminüberschreitungszeit, die zunehmende Standardabweichung der Durchlaufzeiten dagegen eine Erhöhung. Umgekehrte Auswirkungen erhalten wir durch eine Verlängerung der mittleren Durchlaufzeit.

Wenn sich unter Beachtung dieser gegenläufigen Auswirkungen eine Verringerung der mittleren Terminüberschreitungszeit ergibt, so ist eine Veränderung der Zwischentermine für die Erreichung des

Ziels der Minimierung der mittleren Überschreitungszeit des Fertigstellungstermins vorteilhaft (41).

3.4.3. Möglichkeiten der Terminfestlegung für ein Modell eines Textillohnveredlungsbetriebs

Zur Beurteilung der Termineinhaltung in einem deterministischen Simulationsmodell der Textillohnveredlung kommen folgende Möglichkeiten in Betracht:

- Durchlaufzeit und Fertigstellungstermin eines jeden Auftrags
- mittlere Durchlaufzeit und Standardabweichung aller Aufträge
- mittlere Terminüberschreitungszeit aller Aufträge

Eine Fertigstellungsplanung einzelner Aufträge mittels eines Simulationsmodells stösst aber auf verschiedene Schwierigkeiten, die durch die betriebliche Wirklichkeit bedingt sind. Dazu zählen in der Hauptsache:

- Aufträge laufen nicht so durch den Betrieb wie für das Simulationsmodell angegeben. Sie werden kurzfristig auf andere Bearbeitungsstellen umgeleitet oder verzögert. Gründe dafür können sein: kurzfristig defekt gewordene Maschinen, Empfindlichkeit der zu behandelnden Kundenware, Terminverspätungen und daraus resultierende Verkürzung der Behandlung auf einer dazu geeigneten Anlage.

- Aufträge werden kurzfristig mit einer höheren Priorität behandelt und durchlaufen so schneller die Bearbeitungsstellen. Dies bewirkt, dass andere Aufträge wiederum überdurchschnittlich zurückgestellt werden und die festgelegte Bearbeitungsreihenfolge der Aufträge nicht mehr gilt. Ursache dafür sind ultimative Kundenforderungen und Marktverhältnisse, die die Belieferung rascher als geplant erforderlich machen.

---

41) Sprotte H-G.: Simultane Termin- und Reihenfolgeplanung mit Auftragsfertigung und stochastischem Auftragseingang, Diss. Universität Köln 1970, S. 14 ff

- Bedingt durch grossen Arbeitsanfall werden kurzfristig Überstundenleistungen der Belegschaft erbracht, mit denen in einem Terminplanungsmodell nicht gerechnet werden kann.

Diese Schwierigkeiten lassen es geraten erscheinen, zur Terminüberwachung und - planung globale Grössen heranzuziehen, wie die mittlere Durchlaufzeit und Standardabweichung aller Aufträge und die mittlere Terminüberschreitungszeit. So wird es für die Terminplanung ermöglicht, Soll- und errechnete Istwerte zu vergleichen. Sobald beispielsweise die geplante mittlere Ist-Durchlaufzeit der Aufträge grösser wird als die mittlere Soll-Durchlaufzeit, müssen weitere Aufträge abgelehnt werden und umgekehrt. Ebenso kann bei einer Zunahme der mittleren Terminüberschreitungszeit verfahren werden.

4. Heuristische Verfahren der Reihenfolgeplanung auf der Grundlage von Prioritätsregeln

4.1. Zum Begriff heuristischer Verfahren für die Reihenfolgeplanung

Unter "heuristischen Planungsverfahren" (42) sind Methoden zu verstehen, die auf Arbeitshypothesen und Vermutungen aufbauen, die Lösungen eines Problems durch "systematisches Probieren" bringen sollen. Sie werden zur näherungsweisen Optimierung eingesetzt, wenn exakte Verfahren nicht existieren oder wenn für praktische Anwendungen Grössenordnungen erreicht werden, die nicht mehr realisierbar sind. Dies gilt auch für das Reihenfolgeproblem der Textillohnveredlungsindustrie. Da bei unterschiedlicher Bearbeitungsfolge von n Aufträgen auf m Maschinen $(n!)^m$ Reihenfolgeanordnungen möglich sind, müssten im vorliegenden Fall bei beispielsweise m = 25 Maschinen (1 Maschine aus jeder Maschinengruppe, die angesprochen wird) und täglich ca. 300 Aufträgen $(300!)^{25}$ Permutationen berechnet werden, was selbst bei einer Vielzahl von schnellsten zur Verfügung stehenden Rechenanlagen in Jahrzehnten nicht möglich ist. Deshalb wird hier das heuristische Verfahren auf der Grundlage von Prioritätsregeln angewandt. Unter einer Prioritätsregel soll eine Vorschrift verstanden werden, die jedesmal angibt, welcher von den in der Warteschlange W_m einer Bearbeitungsstelle m wartenden Aufträge n als nächster auf der Bearbeitungsstelle m bearbeitet werden soll, sobald diese frei ist (43). Solche Prioritätsregeln werden im folgenden definiert, um dann an dem Modell der Textillohnveredlung getestet zu werden. Denn es ist nur auf induktivem Wege mit Hilfe von Modellexperimenten möglich, Hypothesen über die Eignung heuristischer Verfahren anzunehmen oder abzulehnen (44).

---

42) Weinberg F., Zehnder C.A. (Ed.): "Heuristische Planungsmethoden", Lecture Notes in Operations Research and Math. Economics, Bd. 13, Berlin 1969, S. 7 ff

43) Buzi K.: Die Simulation optimaler Prioritätsregeln für die Ablaufplanung in der Werkstattfertigung, Köln u. Opladen 1971, S. 11

44) Conway R.W., Maxwell W.L., Miller L.W.: Theory of Scheduling, Reading, Mass. 1967, S. 220

4.2. Geeignete Prioritätsregeln für die Textillohnveredlung

Es gibt verschiedene Einteilungarten für Prioritätsregeln:

- einfache und kombinierte (aus mehreren Komponenten zusammengesetzte) Regeln
- statische (zeitkonstante) und dynamische (zeitvariable) Regeln
- exogene (mit von aussen bestimmten Merkmalen) und endogene (mit in sich bestimmten Merkmalen) Regeln
- absolute (Bearbeitungsunterbrechung, wenn Regel mit höherer Priorität eintrifft) und relative (ununterbrechbare) Regeln (45).

Für die Textillohnveredlung werden aus der Vielzahl der in der Literatur beschriebenen Regeln jene ausgewählt, die mit den in Abschnitt 6.2. beschriebenen Prämissen eines Modells der Textillohnveredlung in Einklang stehen. Insbesondere werden Regeln nicht berücksichtigt, die nach der obigen Klassifizierung absolute Merkmale aufweisen, da bei der Bearbeitung textiler Flächengebilde mittels mechanischer oder chemischer Verfahren eine Bearbeitungsunterbrechung eines Auftrages zugunsten eines mit höherer Priorität versehenen Auftrages nicht zulässig ist. Als Beispiel soll hier das Färben einer Ware in einem diskontinuierlichen Prozess dienen, bei dem durch eine Bearbeitungsunterbrechung unweigerlich ein Fehlresultat zu erwarten ist.

Des weiteren werden wertorientierte Regeln nicht berücksichtigt, da in einem Lohnbetrieb der Wert der zu behandelnden Kundenware in bezug auf das Reihenfolgeproblem nicht relevant ist.

4.2.1. Regeln mit Priorität in bezug auf die Ankunftszeit

Es werden die Regeln FCFS (First come - first served) und LCFS (last come - first served) betrachtet. Dieser Regeln sind einfach, statisch, relativ und exogen im Sinne der vorangegangenen Definition. FCFS dient besonders zur Darstellung von bestehenden

---

45) Sägesser R.: Analytische und heuristische Methoden zur Lösung des Reihenfolgeproblems mit besonderer Berücksichtigung der Werkstattfertigung, Diss. HSG St. Gallen 1976

betrieblichen Systemen und zur Modellverifizierung.

Definitionen:

FCFS: Derjenige Auftrag n geniesst für eine Bearbeitung höchste Priorität, der die Warteschlange W_m vor einer Bearbeitungsstelle m als erster betritt.

LCFS: Derjenige Auftrag n hat die höchste Priorität, der zuletzt die Warteschlange W_m vor einer Bearbeitungsstelle m betritt.

4.2.2. Regeln mit Priorität in bezug auf die Bearbeitungszeit

Dazu zählen die Regeln KOZ (kürzeste Operationszeit), LOZ (längste Operationszeit), GSAOZ (grösste Summe der ausstehenden Operationszeiten) und ANZAHL (grösste Anzahl der ausstehenden Operationszeiten). Ihre Eigenschaften sind einfach, statisch, relativ und endogen im Sinne der vorangegangenen Definitionen.

Definitionen:

KOZ: Derjenige Auftrag n in der Warteschlange W_m hat bei der Belegung der Bearbeitungsstelle m die höchste Priorität, der die kürzeste Fertigungszeit t_f aufweist.

LOZ: Derjenige Auftrag n in der Warteschlange W_m hat bei der Belegung der Bearbeitungsstelle m die höchste Priorität, der die längste Fertigungszeit t_f aufweist (46).

GSAOZ: Derjenige Auftrag n in der Warteschlange W_m hat bei der Belegung der Bearbeitungsstelle m die höchste Priorität, der bis zu seiner Fertigstellung noch die grösste Summe von Fertigungszeiten t_{fm}, $m = 1, \ldots, M_n$ aufzuweisen hat.

---

46) Verifizierung dieser Regel bei: Sprotte H.G.: Simultane Termin- und Reihenfolgeplanung mit Auftragsfertigung und stochstischen Auftragseingang, Diss. Universität Köln 1970, S. 37 ff

ANZAHL: Derjenige Auftrag n in der Warteschlange W_m hat bei der Belegung der Bearbeitungsstelle m die höchste Priorität, der bis zu seiner Fertigstellung noch die grösste Anzahl von Bearbeitungen m, m = 1, ..., M_n aufzuweisen hat.

4.2.3. Regeln mit Priorität in bezug auf den Fertigstellungstermin

Es wurden die Regeln TERMIN (frühester Soll-Liefertermin) und SCHLUPF (kleinste Schlupfzeit) ausgewählt. Ihre Eigenschaften sind einfach, relativ und endogen im Sinne der vorangegangenen Definition. Während die TERMIN-Regel statischen Charakter hat, ist die SCHLUPF-Regel dynamisch (= zeitvariabel) ausgelegt.

Definitionen:

TERMIN: Derjenige Auftrag n in der Warteschlange W_m hat bei der Belegung der Bearbeitungsstelle m die höchste Priorität, der den frühesten Soll-Liefertermin T besitzt. Im Rahmen dieser Arbeit wird als Soll-Liefertermin ein Zeitraum bezeichnet, der vom Markt (der Auftragsgeberschaft) als für die Veredlung dieser Textilie "tragbar" angesehen wird.

SCHLUPF: Derjenige Auftrag n in der Warteschlange W_m hat bei der Belegung der Bearbeitungsstelle m die höchste Priorität, der die kleinste Differenz (= Schlupf) zwischen Soll-Liefertermin T und der Summe der noch ausstehenden Fertigungszeiten t_{fm}, m = k, ..., M_n $(1 \leq k \leq M_n)$ aufweist.

$$SCHLUPF = T - t_{an} - \sum_{k}^{M_n} t_{fm} \qquad (47)$$

---

47) Hoss K.: Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden, Würzburg-Wien 1965, S. 165

4.2.4. Kombinierte Prioritätsregeln

Im folgenden Simulationsmodell kommen die Regeln MINSOP nach Le Grande (48) und CONWAY nach R.W. Conway (49) zur Anwendung. Nach den Einteilungskriterien von Abschnitt 4.2. sind diese Regeln kombiniert, relativ, endogen und dynamisch.

Definitionen:

MINSOP: Derjenige Auftrag n in der Warteschlange W_m hat bei der Belegung der Bearbeitungsstelle m die höchste Priorität, der den kleinsten Wert, gebildet aus der Schlupfzeit pro Restoperation, besitzt.

$$\text{MINSOP} = \text{SCHLUPF} \; / \sum_{k}^{M_n} m \qquad (m = 1 < k \leq M_n)$$

CONWAY: Derjenige Auftrag n in der Warteschlange W_m hat bei der Belegung der Bearbeitungsstelle m die höchste Priorität, der den kleinsten Wert, gebildet aus der Summe der Operationszeiten und der Schlupfzeit pro Restoperation, aufzuweisen hat.

$$\text{CONWAY} = \sum_{1}^{M_n} t_{fm} \; + \; \text{SCHLUPF} \; / \sum_{k}^{M_n} m \qquad (m = 1 < k \leq M_n)$$

---

48) Le Grande E.: The Development of a Factory Simulation System using actual Operating Data, MT, Vol. 3, Nr. 1, 1963

49) Conway R.W.: An Experimental Investigation of Priority Assignment in a Job Shop, RAND Corporation RM-3789-PR, 1964, S. 67

4.2.5. Güte der behandelten Regeln in bezug auf die angestrebten Ziele

Die in der Literatur (50) genannten Forschungsergebnisse über Prioritätsregeln sind in der Tabelle 1 kurz zusammengefasst, soweit sie die in dieser Arbeit untersuchten Regeln und Ziele betreffen.

---

50) Conway R.W., Maxwell W.L.: Network Dispatching by the Shortest Operation Discipline, OR, Vol. 10, 1962
Conway R.W.: Priority Dispatching and Job Lateness in a Job Shop, Journal of Industrial Eng., Vol. XVI, 1965, Nr.4
Conway R.W.: Priority Dispatching and Work-in-Process Inventory in a Job Shop, Journal of Industrial Eng., Vol. XVI, 1965, Nr.2
Hoss K.: Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden, Würzburg-Wien 1965
Kanodia L.S.: Queue Balancing - Another Approach to the Theory of Scheduling, M.S. Thesis, MIT, A.P. Sloan School of Management, 1965
Le Grande E.: The Development of a Factory Simulation System Using Actual Operating Data, Management Technology, Vol. 3, Nr.1, 1963
Nanot Y.R.: An Experimental Investigation and Comparative Evaluation of Priority Disciplines in Job-Shop-Line Queuing Networks, PhD - Thesis, UCLA 1963
Sägesser R.: Analytische und heuristische Methoden zur Lösung des Reihenfolgeproblems mit besonderer Berücksichtigung der Werkstattfertigung, Diss. HSG St. Gallen 1976

Zielkriterium	beste Prioritätsregel	in Untersuchung von
Modellvalidierung	FCFS	Sägesser
max. Kapazitäts-auslastung	KOZ	Conway - Maxwell, Le Grande
min. mittlere Durchlaufzeit (bzw. Wartezeit)	KOZ	Sägesser, Nanot, Le Grande, Conway
min. Standardab-weichung der Durchlaufzeit	SCHLUPF FCFS	Kanodia, Nanot, Conway
min. mittlere Terminüberschrei-tungszeit	SCHLUPF CONWAY	Kanodia, Hoss, Le Grande, Conway, Sägesser

Die in Tabelle 1 nicht genannten Prioritätsregeln, die in vorangegangenen Abschnitten definiert worden sind, weisen nach den verschiedenen veröffentlichten Untersuchungen keine hervorragenden Zielerreichungsgrade auf. Nach Sägesser (51) bringt die LCFS - Regel keine besseren Resultate als die FCFS - Regel. Er ist weiters der Ansicht, dass "exogene Prioritätsregeln ungeeignet sind, die Situation in einer Werkstatt zu verbessern". Bezüglich der LOZ - Regel finden sich nur Aussagen für den einstufigen Fertigungsprozess (52).

---

51) Sägesser R.: Analytische und heuristische Methoden zur Lösung des Reihenfolgeproblems mit besonderer Berücksichtigung der Werkstattfertigung, Diss. HSG St. Gallen 1976, S. 155

52) Conway R.W. - Maxwell W.L.: Network Dispatching by the Shortest Operation Discipline, OR, Vol. 10, 1962, S. 51-73

Die TERMIN - Regel führt ebenfalls nur bei einem einstufigen Prozess zur Minimierung der mittleren Terminüberschreitungszeit. In bezug auf die mittlere Durchlaufzeit entspricht sie etwa der FCFS - Regel (53). Nach der Untersuchung von Le Grande (54) ist die kombinierte Regel MINSOP zur Erreichung der von ihm ausgewählten 10 Ziele die geeignetste. Sägesser (55) kritisiert aber, dass je nach Wertschätzung der einzelnen Ziele sich auch jede andere Regel als die geeignetste hätte erweisen können.

Zusammenfassend sollen nocheinmal die Kriterien zur Auswahl der im folgenden Simulationsmodell angewandten Prioritätsregeln dargestellt werden:

1) Aus der Grundgesamtheit der dem Verfasser bekannten Prioritätsregeln wurden jene ausgewählt, die mit den Prämissen und Erfordernissen eines Simulationsmodells der Textillohnveredlung im Einklang stehen (siehe Abschnitte 4.2. und 6.2.).

2) Aus der Menge der unter Punkt 1) genannten Regeln werden für das Modell jene verwendet, die nach den veröffentlichten Ergebnissen von Forschungsarbeiten als die in bezug auf die jeweiligen Zielkriterien besten angesehen werden.

---

53) Sprotte H.G.: Simultane Termin- und Reihenfolgeplanung mit Auftragsfertigung und stochastischem Auftragseingang, Diss. Universität Köln 1970, S. 46
54) Le Grande E.: The Development of a Factory Simulation System Using Actual Operating Data, Management Technology, Vol. 3, Nr.1, 1963, S. 1-19
55) Sägesser R.: Analytische und heuristische Methoden zur Lösung des Reihenfolgeproblems mit besonderer Berücksichtigung der Werkstattfertigung, Diss. HSG St. Gallen 1976, S. 153

Aufgrund dieser Auswahlkriterien werden im Simulationsmodell folgende Regeln getestet:

Zur Modellvalidierung:	FCFS
Zur max. Kapazitätsauslastung:	KOZ
Zum min. mittleren Durchlaufzeit:	KOZ
Zur min. mittleren Terminüberschreitungszeit:	SCHLUPF und CONWAY

5. Die "Job Shop" - Simulation in der Textillohnveredlung

5.1. Zur formalen Systemdarstellung

Zur Darstellung eines realen Betriebes kann ein formales System herangezogen werden. Ermöglicht es ein homomorphes (56) Abbild, so stellt es ein Modell der realen Gegebenheiten dar (57).

Anhand dieses Modells können nun Aussagen über die Elemente des formalen Systems getroffen werden, die zu formalen Ergebnissen führen. Diese Ergebnisse werden in einem weiteren Schritt durch Interpretation wieder in Aussagen über das reale System rückverwandelt, im betrachteten Fall über das Zeitverhalten von Aufträgen in einem Textillohnveredlungsbetrieb.

Diesen Vorgang zur Erstellung formaler Systeme zur Analyse der Zustandsgeschichten zeitablaufbezogener realer Systeme nennt man Simulation (58).

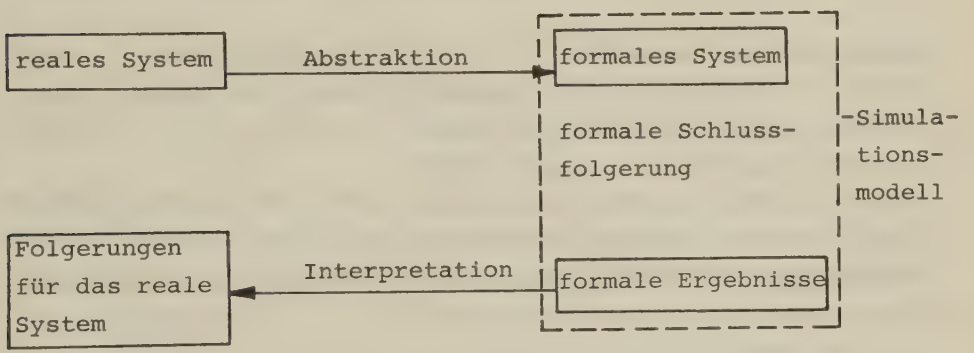


Bild 3: Simulationsmodell und reales System

---

56) homomorph: eindeutige, erschöpfende und strukturerhaltende Abbildungen
57) Witte T.: Simulationstheorie und ihre Anwendung auf betriebliche Systeme, Wiesbaden 1973, S. 13
58) Witte T.: Simulationstheorie ..., S. 18

Simulationen von Reihenfolgeproblemen werden von der Fertigungstechnik her in "Job Shop" - Simulation bei Werkstattfertigung und "Flow Shop" - Simulation bei Fliessfertigung eingeteilt.

Der Unterschied zwischen den beiden Fertigungstypen liegt in der Übergangswahrscheinlichkeit, mit der Aufträge von einer Bearbeitungsstelle an eine andere gelangen, wobei gilt (59):

m = Anzahl Bearbeitungsstellen
P_{ij} = Übergangswahrscheinlichkeit von der Bearbeitungsstelle i auf Bearbeitungsstelle j

$P_{ij} = 1/m$		reiner Job Shop
$P_{ij} = 1/2$	falls $j = i + 1$	Mischform
$P_{ij} = 1/2m$	in anderen Fällen	
$P_{ij} = 1$	falls $j = i + 1$	reiner Flow Shop
$P_{ij} = 0$	in anderen Fällen	

Da die Textillohnveredlung, wie schon in Abschnitt 2.1. ausgeführt, in Werkstatt- oder Gruppenfertigung organisiert ist, handelt es sich dabei um die Simulation eines reinen Job Shops.

Die "Job Shop" - Simulation wird zu zwei Zwecken durchgeführt. Zum einen zur formalen Darstellung des realen Systems und zum anderen zur Systemoptimierung, die in Abschnitt 5.2. behandelt wird.

5.1.1. Systemdarstellung mit realen Komponenten

Die Systemdarstellung eines realen Systems mit Hilfe eines "Job Shop" - Simulationsmodells hat die Aufgabe, den Ist - Zustand des Systems mit seinen gegebenen Komponenten zu untersuchen.

---

59) Conway R.W.: An Experimental Investigation of Priority Assignment in a Job Shop, RAND Corporation RM-3789-PR, 1964, S. 10

Das Modell stellt den Ist - Zustand des realen Systems einer Textillohnveredlung dar, wenn die in einem gegebenen Zeitraum vorhandenen Veredlungs-Aufträge auf den gegebenen Bearbeitungsstellen nach einer Durchlaufvorschrift unter Beachtung der bestehenden Prioritätsregel das Modell durchlaufen. Ausgehend von einer bekannten Anfangsreihenfolge vollzieht die Prioritätsregel FCFS den Ist - Zustand des realen Betriebs nach. Dieser Zustand kann im Rahmen der Aufgabenstellung analysiert werden, um Schwachstellen des betrieblichen Produktionsablaufs zu erkennen oder dazu dienen, Fertigstellungstermine der Aufträge für das reale System zu planen.

5.1.2. Exkurs: Systemdarstellung mit imaginären Komponenten

In ein Modell der Textillohnveredlung können auch imaginäre Systemelemente wie fiktive Aufträge, zusätzliche, nicht existente Bearbeitungsstellen und noch nicht angewandte Durchlaufvorschriften eingegeben werden. Folgende Aussagen und Planungsmöglichkeiten ergeben sich:

Bei fiktiven Aufträgen:	Aussagen zur Reihenfolge- und Terminplanung: - Kapazitätsdeterminierung des Betriebes - Entwicklung der Durchlaufzeiten - Entwicklung der Liefertermine
Bei zusätzlichen Bearbeitungsstellen:	Aussagen zur Investitionsplanung: - Auslastung der neuen Bearbeitungsstellen bei gegebenem Auftragsbestand - Beschleunigung der Durchlaufzeiten der Aufträge durch neue Bearbeitungsstellen
Bei unvorhergesehenem Ausfall von Bearbeitungsstellen:	Aussagen zur "Katastrophen" - Planung: - Mass der Aufrechterhaltung der Lieferfähigkeit - Entwicklung der Terminüberschreitungen

Bei neuen Durchlauf-vorschriften:	- Planung der Soll - Fertigstellungs-termine - Einfluss auf andere Aufträge

5.2. Relative Systemoptimierung - Test von Strategien mit Hilfe von Prioritätsregeln

Ein wesentlicher Unterschied zu anderen Methoden des Operations Research besteht bei der Systemoptimierung mit Hilfe der Simulation darin, dass es keinen Algorithmus gibt, der mit einer durchführbaren Zahl von Schritten ein optimales Modell erzeugen könnte. Simulation ist als Experimentierverfahren auf systematisches Probieren angewiesen, das wahrscheinlich nicht zu einem absoluten Optimum im mathematischen Sinne führt, sondern nur ein relatives Optimum darstellt, das für den Einzelfall als zufriedenstellende Lösung bezeichnet wird.

Systemoptimierung kann entweder in bezug auf die Systemkonfiguration oder in bezug auf die Ablaufbedingungen betrieben werden (60). Da aber für die Aufgabenstellung der Reihenfolge- und Terminplanung in der Textillohnveredlungsindustrie die Systemkomponenten als gegeben angesehen werden müssen, steht zur Systemoptimierung nur die Variation der Ablaufbedingungen zur Verfügung. Hierin ist insbesondere die Variation der Reihenfolgeanordnungen der Veredlungsaufträge in den Warteschlangen vor den einzelnen Maschinen zu verstehen. Dazu werden die in Abschnitt 4. besprochenen Prioritätsregeln angewandt. Sie sind der Ausdruck einer Strategie, die eine Verbesserung des Systemablaufs zu erreichen trachtet. In der Praxis werden die Prioritätsregeln am Modell getestet und in bezug auf ihren Zielerreichungsgrad bewertet. Mit dieser Vorgangsweise wird das im folgenden beschriebene Modell der Textillohnveredlung untersucht.

---

60) Niemeyer G.: Systemsimulation, Frankfurt a.M. 1973, S. 50

6. Beschreibung des Modells der Textillohnveredlung "SIMTEX"

Das Modell "SIMTEX" simuliert einen realen Textillohnveredlungsbetrieb mit allen vorhandenen Bearbeitungsstellen. Es ist Aufgabe des Modells, mit Hilfe bestimmter Reihenfolgeanordnungen der Aufträge, die auf den Maschinen und Anlagen bearbeitet werden sollen, eine Planung der Fertigstellungstermine zu ermöglichen. Des weiteren soll durch den Einsatz geeigneter Prioritätsregeln die Durchlaufzeit der einzelnen Aufträge relativ optimiert werden.

6.1. Die Prämissen des Modells

Das Modell ist für folgende Grössen ausgelegt, die je nach Anwendungsfall geändert werden können:

- max. Anzahl der Aufträge: 1300
- max. Warteschlangenlänge vor jeder Maschinengruppe: 250
- max. Warteschlangenlänge vor jeder Maschine: 160
- max. Anzahl der Maschinengruppen: 99
- max. Anzahl Maschinen pro Gruppe: 15
- max. Anzahl Bearbeitungsstellen pro Auftrag: 25
- max. Fassungsvermögen von Aufträgen bei Bearbeitungsstellen dargestellt als Speicher: 100
- max. Fassungsvermögen von Aufträgen bei Bearbeitungsstellen dargestellt als Verweilstation: 235

Abgrenzung von der Umwelt:

Das Modell beginnt mit der 1. Bearbeitungsstation eines jeden Auftrages und endet mit der letzten. Ankunft und Ablieferung der Aufträge sind nicht Gegenstand dieser Modellsimulation.

Prämissen in bezug auf die Aufträge sind:

- Die Aufträge sind zu Beginn der Simulation vorhanden.

- Ein Auftrag kann auf einer Bearbeitungsstelle nur einen Arbeitsgang haben.

- Das "Zusammennähen" von verschiedenen Kundenaufträgen zu einem Grossauftrag mit gleicher Bearbeitungsfolge auf einer oder mehreren Maschinen ist bis zu einer Maximalzahl erlaubt.

- Ebenso ist die Trennung von zusammengesetzten Aufträgen in Einzelaufträge wieder möglich.

- Das Trennen eines Auftrages in Teile zur Bearbeitung auf einer Maschine ist erlaubt, wenn keine grössere existiert oder wenn die tägliche Bearbeitungszeit überschritten wird.

- Nur solche Aufträge können bearbeitet werden, die die Maschinenrestriktionen erfüllen.

- Abweichungen von der gegebenen Bearbeitungsfolge auf den Maschinen sind nicht möglich.

- Die Fertigstellungstermine der Aufträge sind Resultierende der Reihenfolgeplanung.

Prämissen in bezug auf die Bearbeitungsstellen sind:

- An einer Maschine können je nach Darstellungsform als Maschine, Speicher oder Verweilstation ein oder mehrere Aufträge gleichzeitig bearbeitet werden.

- Ein begonnener Arbeitsgang darf nicht unterbrochen werden.

- Werkstatt-, Gruppen- sowie Strassenfertigung sind im Modell berücksichtigt.

- Vor allen Maschinengruppen bilden sich Warteschlangen, d.h. das Zeitintervall zwischen den Ankünften zweier aufeinanderfolgender Aufträge an einer Bearbeitungsstelle ist kürzer als die Bearbeitungszeit des zuerst eingetroffenen Auftrages. Dies wird durch eine im Verhältnis zur Zahl der vorhandenen Maschinengruppen relativ grossen Anzahl von Aufträgen impliziert.

- Unter Annahme der vorhergehenden Aussage besteht die Übergangszeit zwischen zwei Maschinengruppen aus der Wartezeit des Auftrages vor der zweiten Gruppe. Transportzeiten sind so vernachlässigbar, da sie in der Wartezeit enthalten sind, d.h. ein Teil der Wartezeit entfällt auf die Transportzeit.

- Rüstzeiten sind reihenfolgeunabhängig und in den Bearbeitungszeiten enthalten.

- Gleichartige Maschinen sind in Maschinengruppen zusammengefasst.

- Die Kapazität der Maschinen ist durch die Arbeitszeit, die Laufgeschwindigkeit bzw. die Prozesszeit beschränkt.

- Der Veredlungsprozess ist ein maschinenlimitiertes System, wobei auch reine Handarbeit unter den Begriff "Maschine" subsummiert wird. Für alle Maschinen sind genügend Arbeitskräfte vorhanden.

6.2. Die Aufbereitung der Daten

6.2.1. Die Aufbereitung der Daten des Maschinenparks

Für das Modell "SIMTEX" werden Daten benötigt, die die maschinelle Ausstattung eines Textillohnveredlungsbetriebes beschreiben. Zu diesen maschinenorientierten Daten gehören Aussagen über bestimmte Merkmale von Maschinengruppen und von Merkmalen

einzelner Maschinen in diesen Gruppen, wobei auch eine einzelne Maschine eine Gruppe bilden kann.

Merkmale der Maschinengruppen sind:

- Anzahl
- Darstellungsart
- Prozesstyp
- Warensammelprozess
- Minimalbelegung
- Arbeitszeit
- Startzeit
- maschinenorientierte Prioritätsregel

Merkmale der einzelnen Maschinen in der Gruppe sind:

- Anzahl
- Restriktionen

Die einzelnen Maschinengruppen können als Maschine, Speicher oder Verweilstation dargestellt werden, wobei bei der Darstellung als Maschine ein kontinuierlicher oder diskontinuierlicher Prozesstyp möglich ist. Ebenfalls nur bei dieser Darstellungsart ist die Beachtung von Warensammelprozessen vor der Belegung einer Gruppe vorgesehen; sie sind aber nur für den diskontinuierlichen Prozesstyp erlaubt. Der Start einer solchen diskontinuierlichen Maschinengruppe darf nur dann erfolgen, wenn eine gewisse Minimalbelegung mindestens einer Maschine in dieser Gruppe gegeben ist. Die Arbeitszeit einer einzelnen Gruppe kann gegenüber der für das ganze Modell geltenden Normalarbeitszeit abweichen, indem sie diese über- oder unterschreitet. Auch ist eine spezielle Startzeit für einzelne Maschinengruppen vorgesehen, um individuelle betriebliche Gegebenheiten zu erfassen.

Die Restriktionen der einzelnen Maschinen betreffen die von den gemeinsamen Gruppenmerkmalen abweichenden maximalen Arbeitsbreiten oder maximalen Fassungsvermögen.

6.2.2. Die Aufbereitung der Daten der Kundenaufträge

Für die Veredlungsaufträge der Kunden werden folgende Daten benötigt:

- Auftrags- bzw. Kundennummer
- Artikelnummer
- Warenmenge und -einheit
- Warenbreite
- Warengewicht
- Farbe
- Priorität

Die Auftrags- bzw. Kundennummer dient zur Identifikation der Aufträge im Modell, wobei jeder Nummer eine interne Laufnummer zugeordnet wird. Die Artikelnummer stellt die Beziehung des Auftrages zu seinem Durchlaufweg durch die Bearbeitungsstationen her. Der Durchlaufweg ist in den vorhandenen Produktionsprozessen vorgezeichnet.

Die Modelleinheit für die Warenmenge ist der Meter. Da aber im textilen Bereich andere Masseinheiten wie Coupon und Yard (61) üblich sind, werden diese vor dem Start des Modells umgerechnet (siehe Abschnitt 7.3.23.).

Die Warenbreite ist in cm angegeben und ist zur Überwachung der Einhaltung der Breitenrestriktion auf kontinuierlichen Maschinen notwendig. Ebenso wird das Warengewicht in kg angegeben, um das maximale Fassungsvermögen von diskontinuierlichen Maschinen nicht zu überschreiten.

Die Angabe der Farbe erfolgt in drei Stufen: hell, mittel und dunkel. Diese Abgrenzung wird benötigt, da manche Färbeprozesse je nach Helligkeit der Farbe unterschiedliche Bearbeitungs-

---

61) 1 Coupon à 10 Yard = 9,14 m; 1 Coupon à 15 Yard = 13,71 m.

zeiten aufweisen (dunklere Farben erfordern eine grössere Anzahl von Spülungen als helle, wenn beispielsweise auf einer Haspelkufe gefärbt wird). Die Angabe der Priorität eines Auftrages dient dazu, "eiligen" Kundenaufträgen ein Überholen zu gestatten. Dieser Vorgang wird zur Modellverifikation und zum Test von Prioritätsregeln nicht angewandt, da er die durch die Prioritätsregeln gebildeten Reihenfolgen stört.

6.2.3. Die Aufbereitung der Daten der Produktionsprozesse

Die Daten der Produktionsprozesse werden benötigt, um jedem einzelnen Auftrag die Bearbeitungsstellen zuzuordnen, auf denen er bearbeitet werden soll. Dazu erhält jeder Auftrag eine Artikelnummer, die mit folgenden Angaben verbunden ist:

- Folge der Maschinengruppen
- Laufgeschwindigkeit bzw. Prozesszeit
- Soll - Fertigstellungstermin

Die Maschinengruppenfolge eines jeden Artikels wird aufgrund technologischer Erfordernisse von Veredlungsfachleuten festgelegt und ist für das Modell ein Datum. Ebenso die Laufgeschwindigkeit bzw. Prozesszeit auf jeder Maschinengruppe. Je nachdem, ob es sich um einen kontinuierlichen Durchlauf der Aufträge handelt oder um einen diskontinuierlichen Prozess, werden die Zeiten in m/min. oder Minuten angegeben. Dabei ist zu beachten, dass die Laufgeschwindigkeit bzw. Prozesszeit aus der eigentlichen Lauf- bzw. Prozesszeit und der eingerechneten Rüstzeit besteht. Der Soll - Fertigstellungstermin wird in Tagen angegeben und stellt die vom Markt geforderte Fertigstellungszeit bei einem durchschnittlichen Maschinenauslastungsgrad (62) dar.

---

62) Maschinenauslastungsgrad = $\frac{\text{geleistete Maschinenzeiteinheiten}}{\text{vorhandene Maschinenzeiteinheiten}}$

6.3. Der Aufbau des Modells

6.3.1. Die Zeit- und Ereignissteuerung

Die Modellzeit folgt dem natürlichen zeitlichen Ablauf eines Textillohnveredlungsbetriebes. Die Modellzeiteinheit ist die Minute. Diese Einheit wurde gewählt, um einerseits eine genügende Feinheit der Modelldarstellung zu erreichen und andererseits die Datencharakteristik durch die Grösse ihrer Werte nicht unüberschaubar zu machen.

Von der Anwendung her handelt es sich um eine dynamische oder Zeitreihen - Simulation (63), da das System über mehrere Zeitperioden betrachtet wird. Das Modell arbeitet mit variablen Zeitschritten, d.h. das Simulationssystem überspringt Zeitabschnitte ohne Aktivität in grossen Sprüngen. Man nennt diese Methode auch "ereignisorientierte Zeitsteuerung". Dabei wird der Ausdruck "Ereignis" zur Beschreibung des Auftretens einer Änderung in einem Zeitpunkt des Modellablaufs benutzt (64).

Im Falle der Textillohnveredlung werden die Zeiten, zu denen Systemänderungen auftreten als Charakteristika der Aktivitäten der Aufträge betrachtet.

Die Bewegung der Aufträge durch das Modell wird dadurch simuliert, indem man einen Auftrag, der in einer Warteschlange wartet, startet und den Wechsel des Aufenthaltsortes registriert. Die Aufträge werden dabei nicht wirklich bewegt, sondern es werden nur die Orts- und Zeitattribute verändert. Auf diese Weise wird der an sich stetige Bewegungsvorgang in mehrere diskrete Weg- und Zeitkoordinaten aufgelöst (65).

---

63) Bauknecht K., Kohlas J., Zehnder C.A.: Simulationstechnik, Berlin-Heidelberg-New York 1976, S. 8
64) Gordon G.: Systemsimulation, München-Wien 1972, S. 128
65) Niemeyer G.: Systemsimulation, Frankfurt a.M. 1973, S. 241

Die Grundstruktur des Modells besteht darin, dass zunächst ein neues Ereignis gesucht und die Modellzeit auf die Ereigniszeit vorgerückt wird. Anschliessend wird die Ereignissart untersucht. Ein Auftrag kann folgende Aktivitäten oder Ereignisse auslösen:

- Zugang in eine Maschinengruppe
- Zugang in einen Speicher
- Zugang in eine Verweilstation
- Fertigstellung auf einer Maschine in einer Gruppe
- Verlassen eines Speichers
- Verlassen einer Verweilstation
- Starten einer Maschinengruppe
- Starten eines Speichers

Zugangsereignisse werden als solche in der Ereignisliste registriert und die Auftragsnummer in die Warteschlange vor der jeweiligen Maschine oder dem jeweiligen Speicher gegeben. Ebenso werden für Fertigstellungsereignisse Auftrags- und Maschinendaten gesucht, um die Maschine (Speicher oder Verweilstation) zu finden, auf der ein bestimmter Auftrag fertiggestellt ist, und um die Daten für den geänderten Systemzustand zu erneuern. Dasselbe Verfahren wird für Startereignisse von Maschinengruppen oder Speichern angewandt; hier werden für den Startversuch einer Maschinengruppe oder eines Speichers Auftrags- und Maschinendaten gesucht.

Die primären Ereignisse Fertigstellung, Maschinenstart und Modelleintritt können bedingte Zugangsereignisse zur Folge haben, durch die die fertiggestellten,gestarteten bzw. neueingetretenen Aufträge Maschinengruppen (Speicher oder Verweilstationen) belegen können.

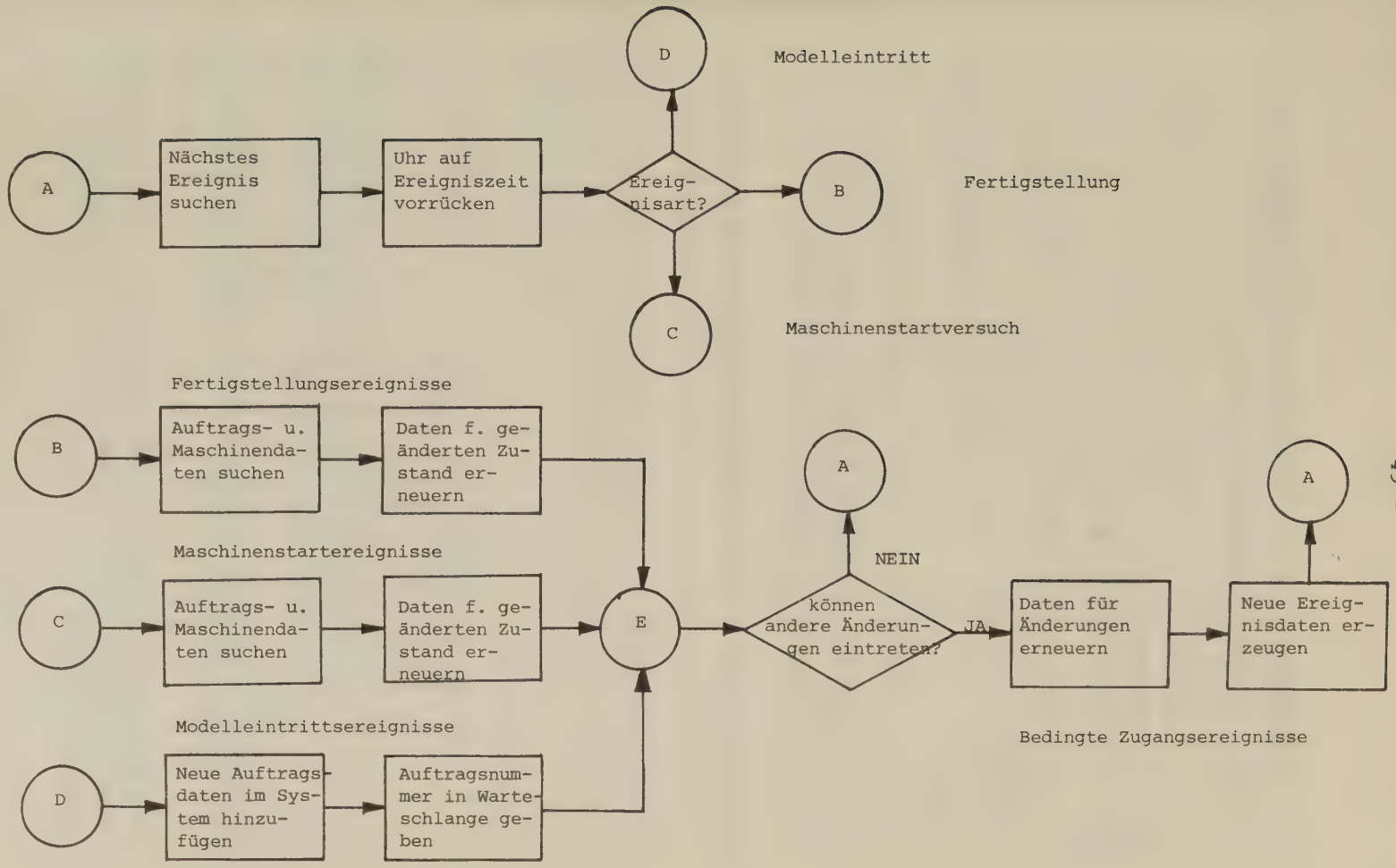


Bild 4: Verfahrenstechnisches Grobdiagramm der Zeit- und Ereignissteuerung.

6.3.2. Die Darstellung der verschiedenen Textilveredlungsmaschinen in simulationstechnischer Sicht

Für das Simulationsmodell der Textillohnveredlungsindustrie sind vom Prozesstyp her verschiedene Arten von Bearbeitungsstationen vorzusehen. Diese sind:

- die diskontinuierliche Bearbeitungsstation dargestellt als Maschine
- die kontinuierliche Bearbeitungsstation dargestellt als Maschine
- die diskontinuierliche Bearbeitungsstation dargestellt als Speicher
- die mit Speicher kombinierte kontinuierliche Maschine
- die Verweilstation: Sonderfall eines Speichers

6.3.2.1. Die diskontinuierliche Bearbeitungsstation dargestellt als Maschine

Bestimmte Maschinen der Textilveredlung arbeiten diskontinuierlich. Dies ist besonders bei chemischen Prozessen notwendig, die gleichmässig über eine gewisse Zeit auf die textilen Substrate einwirken müssen. Beispiele für diskontinuierliche Maschinen (Prozesse) sind:

- die Trockenschleuder
- der Beuchkessel
- die diskontinuierliche Bleiche (Bleichbottiche)
- die diskontinuierliche Färberei (Haspelkufe, Jigger, Jet, HT-Apparate)

Simulationstechnisch relevante Merkmale diskontinuierlicher Textilveredlungsmaschinen sind:

- Die Textilien werden einem Behandlungsprozess unterworfen, dessen Zeit unabhängig von der Menge der zu bearbeitenden Textilien ist.

- Die Prozesszeit ist fix und wird in Minuten angegeben.

- Es existiert eine Restriktion in bezug auf das maximale Fassungsvermögen, das in Kilogramm (kg) angegeben wird.

- Wenn kein Warensammelprozess einer Belegung der diskontinuierlichen Maschine vorausgeht, kann sie nur 1 Auftrag zur selben Zeit bearbeiten. Ist ein Warensammelprozess vorhanden, so können mehrere Aufträge mit gleicher Prozesszeit die diskontinuierliche Maschine belegen, sofern das maximale Fassungsvermögen nicht überschritten wird.

- Das Ende eines Warensammelprozesses kann entweder durch das Überschreiten einer Auftragsmindestmenge (in kg), die für den Beginn des Prozesses notwendig ist und / oder durch das Erreichen einer vorbestimmten Maschinenstartzeit gegeben sein.

- Diskontinuierliche Maschinen können eine maschinengebundene Prioritätsregel besitzen (siehe Abschnitt 6.5.3.).

Diese Merkmale sind in den Programmblöcken, die das Starten, Belegen und Freigeben einer Maschine simulieren, dargestellt (Siehe Abschnitte 7.3.4., 7.3.5., 7.3.6., 7.3.7.).

Das Bearbeiten eines Kundenauftrages auf einer diskontinuierlichen Maschine geht im Prinzip folgendermassen vor sich:
Aus der nach der Prioritätsregel angeordneten Warteschlange vor der Maschine wird der erste Auftrag herausgenommen, seine Auftragsnummer notiert und die zugehörigen Auftragsdaten aktiviert. Daraus wird die Bearbeitungszeit auf dieser Maschine entnommen und die Auftragsnummer sowie die Bearbeitungszeit werden in die betreffenden Maschinendaten eingetragen. Die Maschine befindet sich jetzt im Zustand "Bearbeiten" und kann nicht belegt werden.

Erreicht die Simulation die Fertigstellungszeit des Auftrages auf dieser Maschine, so wird die Auftragsnummer aus den Daten dieser Maschine gelöscht und sie kann wieder belegt werden. Findet vor dem Belegen der diskontinuierlichen Maschine ein Warensammelprozess statt, so werden alle in der Warteschlange vor der Maschine befindlichen Aufträge zugleich bearbeitet, d.h. sie werden bis zum selben Fertigstellungszeitpunkt gemeinsam verzögert. Es ist deshalb möglich, alle Aufträge aus der Maschinenwarteschlange zu bearbeiten, da die Auswahlkriterien wie Fassungsvermögen der Maschine, gleiche Prozesszeit, Überschreiten der der Maschine zur Verfügung stehenden Arbeitszeit schon bei der Auswahl der Aufträge aus der Warteschlange, die sich vor der Maschinengruppe befindet, in die Subwarteschlange der einzelnen Maschinen berücksichtigt werden (Siehe Abschnitt 7.3.4.).

6.3.2.2. Die kontinuierliche Bearbeitungsstation dargestellt als Maschine

Als Beispiele für Kontinue - Maschinen in der Textilveredlung können angeführt werden:

- Sengmaschine
- Mercerisiermaschine
- Kontinue - Bleichanlagen
- Kontinue - Färbeanlagen
- Appretur - Foulard
- Stabmaschine

Simulationstechnische Merkmale solcher Maschinen sind:

- Die Textilien laufen ohne Unterbrechung (= kontinuierlich) durch die Maschine.

- Die Maschine hat für jeden Artikel eine Arbeitsgeschwindigkeit, die in Metern pro Minute (m/min.) angegeben wird. Diese bewegt sich normalerweise im Bereich von 1 - 150 m/min.

- Die kontinuierliche Maschine kann nur 1 Auftrag zur selben Zeit behandeln.

- Es kann eine Restriktion in bezug auf die maximale Arbeitsbreite existieren. Diese wird im Modell in Zentimetern (cm) angegeben. Sie ist aber nur relevant, wenn die Textilbahn in ausgebreitetem Zustand behandelt wird. (Die Textilie kann auch in einem Strang gebündelt oder als Schlauch bearbeitet werden).

- Kontinuierliche Maschinen können je nach Aufstellungsart maschinengebundene Prioritätsregeln besitzen (Siehe Abschnitt 6.5.3.).

Im Simulationsmodell besteht keine Notwendigkeit, die kontinuierliche Maschine speziell zu behandeln. Sie wird vielmehr wie die diskontinuierliche Maschine ohne Warensammelprozess dargestellt. Dazu wird in dem Programmblock, der für die Aufbereitung der Daten der Kundenaufträge zuständig ist (Siehe Abschnitt 7.3.23), die Warenmenge in Metern mit der Laufgeschwindigkeit in Metern pro Minute multipliziert, so dass sich wie für die diskontinuierliche Maschine eine fixe Prozesszeit für jeden Auftrag ergibt.

6.3.2.3. Die diskontinuierliche Bearbeitungsstation dargestellt als Speicher

In einigen Fällen kann es notwendig sein, Bearbeitungsstationen als Speicher zu simulieren. Als Beispiele für solche Bearbeitungsstationen in der Textilveredlung können genannt werden:

- die enzymatische Entschlichtung
- die Reaktionskammern einer J-Box Bleiche
- diverse Aetzanlagen

Simulationstechnische Merkmale von als Speicher dargestellten Bearbeitungsstationen sind:

- Die Textilien werden einem Behandlungsprozess unterworfen, dessen Zeit unabhängig von der Menge der zu bearbeitenden Textilien ist.

- Die Prozesszeit ist fix und wird in Minuten angegeben.

- Es existiert eine Restriktion in bezug auf das maximale Fassungsvermögen des Speichers, das in Kilogramm (kg) angegeben wird.

- Es können bis zu einer Maximalzahl gleichzeitig mehrere Aufträge bearbeitet werden, die auch unterschiedliche Bearbeitungszeiten aufweisen können.

- Vor einem Speicher kann es zu einem Warensammelprozess kommen, bis die möglichen Restriktionen, Maschinenstartzeit und Warenmindestmenge, durch Erreichen der gewünschten Zeit bzw. Warenmenge erfüllt sind.

- Das Wiederbelegen eines Speichers ist nur dann erlaubt, wenn die Warteschlange vor dem betreffenden Speicher neu mit Aufträgen gefüllt wurde.

  Diese Vorgangsweise hat sich in den Anwendungsfällen als günstiger erwiesen als die anderen Strategien für das Wiederbelegen eines Speichers:
  - Wiederbelegen, sobald ein Auftrag den Speicher verlässt (entspricht der kontinuierlichen Maschine).
  - Belegen des Speichers in einem Simulationslauf nur 1 mal gestattet.

Diese Merkmale sind in den Programmblöcken, die das Starten, Belegen und Freigeben eines Speichers simulieren, programmiert (Siehe Abschnitte 7.3.8., 7.3.9., 7.3.10.).

Das "Bearbeiten" von Kundenaufträgen auf einem Speicher geht im Modell so vor sich, dass alle in der Warteschlange vor dem Speicher befindlichen Aufträge gleichzeitig den Speicher betreten, sofern seine Kapazität (maximale Anzahl Aufträge) nicht überschritten wird und die anderen Restriktionen (Startzeit, Warenmindestmenge, maximales Fassungsvermögen) erfüllt sind.

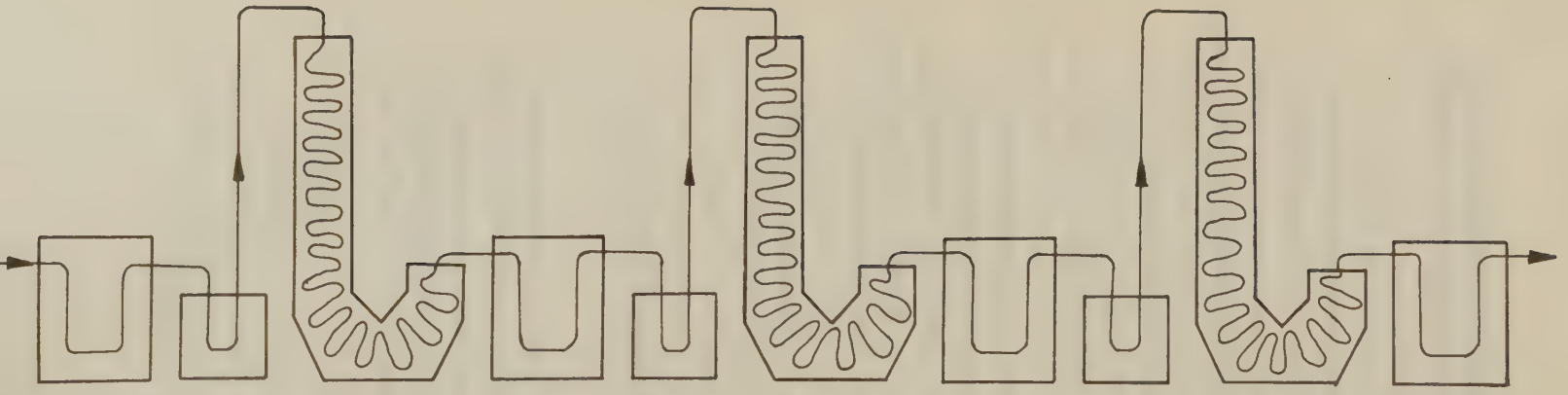
Die Auftragsnummer und die Verweilzeit der Aufträge wird in den Maschinendaten des Speichers festgehalten. Der Speicher ist jetzt belegt und kann nicht von weiteren Aufträgen betreten werden. Ist die Zeit, an der ein Auftrag den Speicher verlassen soll, erreicht, wird er aus den Speicherdaten eliminiert. Ebenso wird aus den Daten des betreffenden Auftrags die Nummer des Speichers gelöscht, da diese "Bearbeitung" schon stattgefunden hat.

Spezielle Prioritätsregeln kommen nicht zur Anwendung, da alle Aufträge, die die Warteschlange nach dem Prinzip "first in, first out" belegt haben, zur selben Zeit den Speicher belegen.

6.3.2.4. Die mit einem Speicher kombinierte kontinuierliche Maschine

Das Fehlen einer Einsatzmöglichkeit von Prioritätsregeln beim Speicher stellt keine Restriktion dar, weil nach der Auffassung der Funktion eines Speichers in dieser Arbeit ein Speicher immer mit einer vorangestellten kontinuierlichen Maschine kombiniert werden muss, da immer Wareneinlaufvorgänge in den Speicher zu simulieren sind.

Als Beispiel für eine grössere Anlage, die aus mehreren mit Speichern kombinierten kontinuierlichen Maschinen besteht, soll eine kontinuierliche Strangbleiche dienen, die in der textilen Fachsprache Stiefel- oder J-Box Bleiche genannt wird.



kontinuierliche Maschine LG = 50 m/min	Speicher F_{max} = 1800 kg S_t = 240 min	kontinuierliche Maschine LG = 50 m/min	Speicher F_{max} = 1800 kg S_t = 100 min	kontinuierliche Maschine LG = 50 m/min	Speicher F_{max} = 1800 kg S_t = 150 min	kontinuierl. Maschine LG = 50 m/min

Typen von Bearbeitungsstationen und technischen Daten

Masch. belegen BELFAC	Masch. verlassen FINFAC	Speicher belegen BELSTO	Speicher verlas-sen FINSTO	Masch. belegen BELFAC	Masch. verlassen FINFAC	Speicher belegen BELSTO	Speicher verlas-sen FINSTO	Masch. belegen BELFAC	Masch. verlassen FINFAC	Speicher belegen BELSTO	Speicher verlas-sen FINSTO	BELFAC	FINFAC

Simulationsblöcke im Textillohnveredlungsmodell "SIMTEX"

Bild 5: J-Box Bleichanlage und ihre Abbildung in Funktionsblöcken des Modells "SIMTEX"

Die Textilien durchlaufen zuerst die Strangwasch- und die Strangimprägniermaschine, die kontinuierlich arbeiten. In der Simulation können beide zu einer Maschine zusammengefasst werden. Anschliessend gelangen die Textilien in den Brühstiefel, in dem ein Kochprozess mit NaOH stattfindet. Dieser Vorgang wird als Speicher dargestellt. Obwohl die Textilien kontinuierlich durch den Stiefel laufen, verweilen sie in diesem eine fixe Zeit, da der Stiefelschacht ein gewisses Speichervolumen besitzt, das grösser ist als die Auslaufgeschwindigkeit der Textilien. Anschliessend wiederholt sich der ganze Vorgang mit einem Schwefelsäure- (H_2SO_4) oder Salzsäureprozess (HCI) im 2. Stiefel. Bei einer Anlage mit 3 Stiefeln, wie der beispielsweise dargestellten, wird der Prozess nach Durchlaufen des 2. Stiefels unterbrochen, um auf demselben einen Natriumhypochloritprozess (NaClo) zu fahren. Dies ist auch der Grund, warum im Modell die 3 Stiefel nicht als 1 Speicher zusammengefasst werden können, da diese Prozesse zu unterschiedlichen Zeiten stattfinden können. Abschliessend findet auf dem 3. Stiefel dann ein Peroxydprozess (H_2O_2) statt. Die Textilien werden letztmalig gewaschen und verlassen dann die Anlage.

Die Genauigkeit, mit der eine solche Anlage simuliert wird, mag zu weitgehend erscheinen, ist jedoch im Interesse der Genauigkeit der Resultate notwendig. Es ist nicht möglich, die ganze Anlage einfach als kontinuierliche Maschine zu betrachten, da je nachdem, ob kleine oder grosse Auftragsmengen bearbeitet werden, die Zeiten auf den kontinuierlichen Maschinen der Anlage zwar kürzer oder länger werden, die Speicherzeit in den Stiefeln aber konstant bleibt.

6.3.2.5. Die Verweilstation: Sonderfall eines Speichers

In der Textilveredlung kommen Speicher vor, die "Verweilstation" genannt werden. Sie werden beispielsweise zusammen mit bestimmten Maschinen eingesetzt:

- Färbe - Foulard
  mit Verweilstation
- Kontinue - Breitbleiche
  mit Verweilstation

Verweilstationen dienen in der Färberei, je nach Färbeverfahren, entweder zur Reaktion oder zur Entwicklung des Farbstoffes, in der Bleicherei und bei anderen Prozessen zur Verhinderung einer Wassersackbildung der behandelten Substrate bei der Lagerung zwischen zwei Prozessen. Technisch besteht eine Verweilstation meist aus einem sogenannten "Dockenwagen".

Verweilstationen unterscheiden sich wesentlich von Speichern des oben beschriebenen Typs, obwohl sie dieselbe Speicherfunktion besitzen.

Spezifische Merkmale für die Simulation sind:

- Die Textilien werden einem Prozess unterworfen, dessen Zeit unabhängig von der Menge der zu bearbeitenden Textilien ist.

- Die Prozesszeit ist fix und wird in Minuten angegeben.

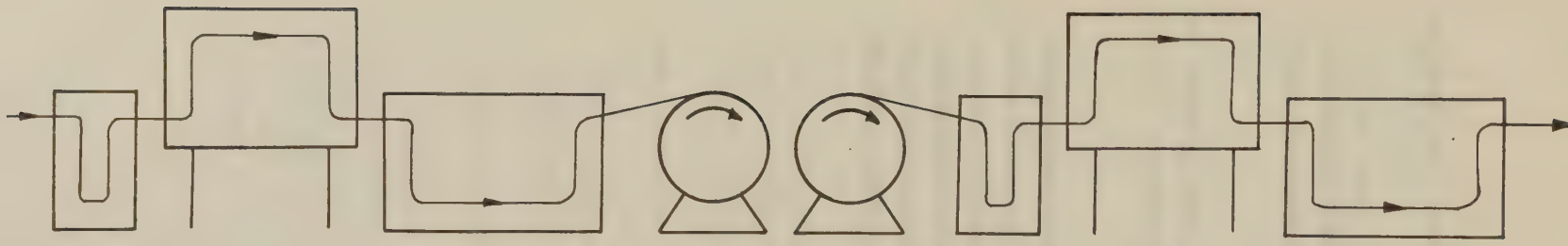
- Es existiert keine Restriktion in bezug auf das maximale Fassungsvermögen, da angenommen wird, dass die Kapazität der zur Verfügung stehenden Verweilstationen so gross ist, dass jeder Auftrag, der durch die vorhergehende Bearbeitungsstation, zu der die Verweilstation gehört, gelaufen ist, diese ohne zu warten belegen kann.

- Daraus folgt, dass eine Verweilstation auch keine Warteschlange besitzt.

- Die Arbeitszeit der Verweilstation kann über die normale Arbeitszeit eines Betriebes hinausgehen, da sie während der Verweilzeit keiner manuellen Bedienung bedarf.

Diese Merkmale sind in den Programmblöcken, die das Belegen und Freigeben von Verweilstationen darstellen, programmiert (Siehe Abschnitte 7.3.11., 7.3.12.).

Das Belegen einer Verweilstation ist im Modell so dargestellt, dass für einen hereinkommenden Auftrag eine Eintragung der Auftragsnummer und der Verweilzeit in die Maschinendaten vorgenommen wird. Ist die Zeit erreicht, bei der der Auftrag den Speicher verlassen soll, werden diese Eintragungen ebenso wie diese Bearbeitungsstation in den Auftragsdaten wieder gelöscht.



B r ü h p r o z e s s (Lauge, Soda)

B l e i c h p r o z e s s (Chlor, Peroxyd)

kontin. Masch.	kontinuierliche Maschine T = 50 m/min	kontinuierliche Maschine	Verweil-station T = 300 min	Verweil-station T = 300 min	kontin. Masch.	kontinuierliche Maschine T = 50 m/min	kontinuierliche Maschine

Typen von Bearbeitungsstationen und technischen Daten

Maschine belegen BELFAC	Maschine verlassen FINFAC	Verweilst. belegen BELVER	Verweilst. verlassen FINVER	Maschine belegen BELFAC	Maschine verlassen FINFAC

Simulationsblöcke im Textillohnveredlungsmodell SIMTEX

Bild 6: Kontinue - Breitbleichanlage mit Verweilstation und ihre Abbildung in Funktionsblöcken des Modells SIMTEX.

Tabelle 2:

Prozesstypen von Bearbeitungsstationen in SIMTEX mit Beispielen

Bezeichnung	Prozess	Typ	Start-zeit	End-zeit	Priori-tät	Waren-sammel-prozess	min. %satz f. Be-legung	Restriktion CM oder KG
Kont. Masch. ohne Restr.	F	K	0	0	0	0	0	-
Kont. Masch. mit Restr.	F	K	0	0	0	0	0	BR 180
Kont. Masch. mit Restr., eigener Arbeitszeit und eigener Prioritätsregel	F	K	500	150	3	0	0	BR 150
Diskont. Masch. mit Rest.	F	D	0	0	0	0	0	KG 400
Diskont. Masch. mit Rest., eigener Arbeitszeit und eigener Prioritätsregel	F	D	200	200	4	0	0	KG 600
Diskont. Masch. mit Rest. und startzeitabhängigem Warensammelprozess	F	D	400	0	0	1	0	KG 500
Diskont. Masch. mit Rest. und mindestprozenabhängigen Warensammelprozess	F	D	0	0	0	1	30	KG 500
Kont. Masch. mit Speicher und startzeitabhängigem Warensammelprozess	F S	K D	0 300	0 0	0 0	0 1	0 0	- KG 1800
Kont. Masch. mit Restr. und Verweilstation	F V	K D	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	BR 150 -

- Prozess: F = Maschine
  S = Speicher
  V = Verweilstation
- Typ: K = kontinuierlich
  D = diskontinuierlich
- Start- und Endzeit: In bezug auf Normalarbeitsz.
- Warensammelprozess: 0 = findet nicht statt
  1 = findet statt
- Priorität: maschineneigene Prioritätsregel

6.3.3. Der Textillohnveredlungsbetrieb als System von Warteschlangen

6.3.3.1. Die Beziehungsstrukturen "Warteschlange - Maschine"

Das Modell des Textillohnveredlungsbetriebs besteht im wesentlichen aus einer Folge von Warteschlangen und Bearbeitungsstationen. Dabei sind als zusammengehörige Prozesseinheiten zu unterscheiden:

- Warteschlangen und serielle Maschinengruppen
- Warteschlangen und parallele Maschinen pro Gruppe

Vor jeder Maschinengruppe, die aus 1 - 15 parallelen Maschinen bestehen kann, befindet sich eine Warteschlange von Aufträgen, die auf den einzelnen Maschinen der Gruppe bearbeitet werden sollen. Dazu wird die Warteschlange nach bestimmten Kriterien in Teilwarteschlangen (den sogenannten Maschinen-Puffern), die jeweils vor den einzelnen Maschinen angeordnet sind, übergeführt.

Bild 7 zeigt den Sachverhalt an einem Beispiel:
2 serielle Maschinengruppen mit je 4 bzw. 2 parallelen Maschinen und den zugehörigen Maschinen-Puffern sind dargestellt.

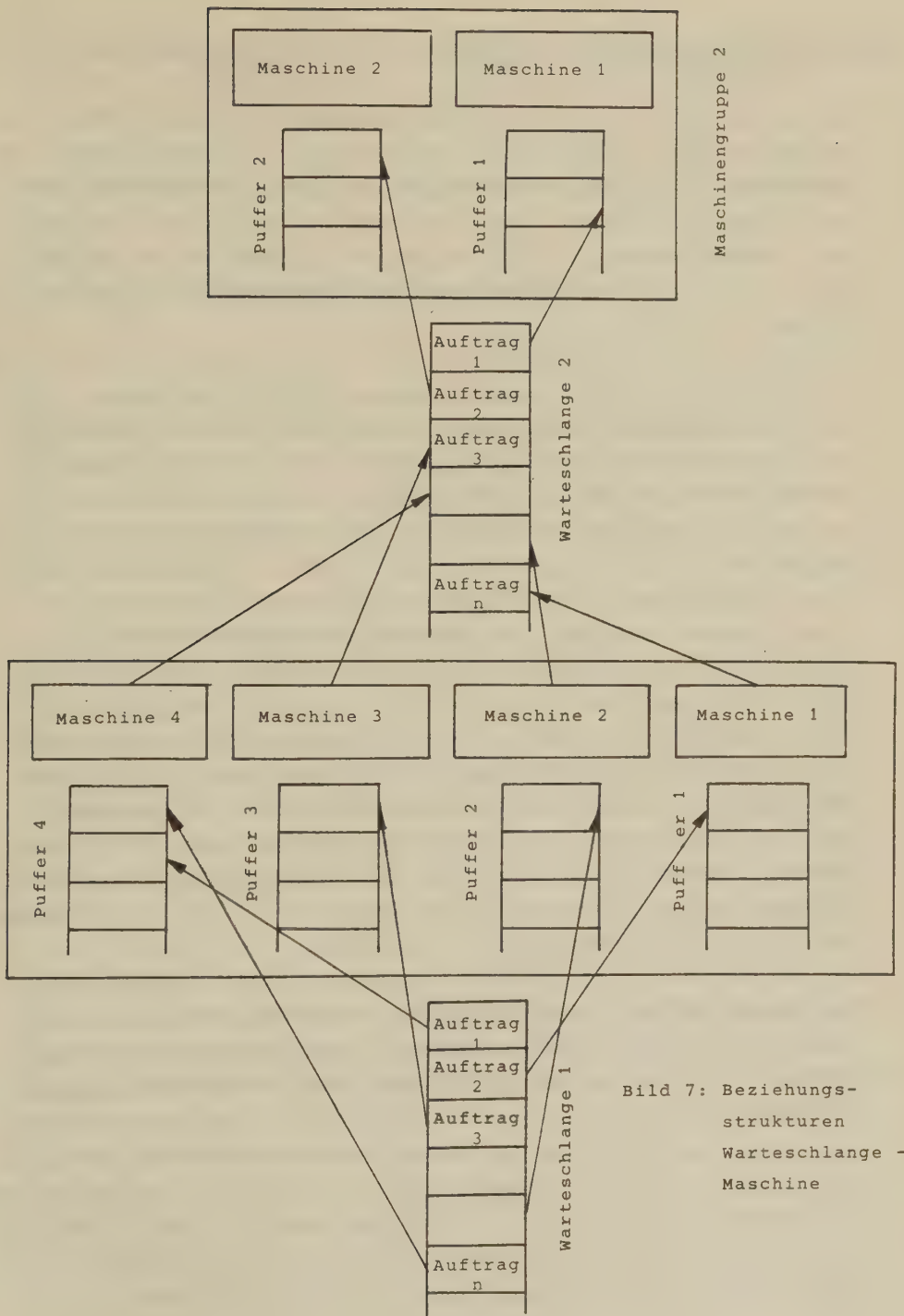


Bild 7: Beziehungs-
strukturen
Warteschlange -
Maschine

6.3.3.2. Die Auswahl der Aufträge zur Belegung der Maschinen

Die Warteschlange vor einer Maschinengruppe wird mit den Aufträgen gefüllt, die für eine Bearbeitung auf dieser Gruppe vorgesehen sind. Die Belegung der Warteschlange erfolgt wahllos, je nachdem, an welcher Stelle gerade ein Platz frei ist. Anschliessend werden die Aufträge in den Puffer derjenigen Maschine in der Gruppe gebracht, auf der sie bearbeitet werden sollen.

Die Notwendigkeit für das hier angewandte Warteschlangen - Puffer (Subwarteschlange) Konzept ergibt sich daraus, dass Maschinen innerhalb einer Maschinengruppe unterschiedliche Restriktionen aufweisen können. So werden aus der Warteschlange vor der Maschinengruppe zur Belegung eines Maschinen-Puffers nur diejenigen Aufträge ausgewählt, deren Masse (Warenbreite oder Warengewicht) von den Restriktionen der jeweiligen Maschine erfüllt werden können. Erst im Maschinen-Puffer werden die Aufträge nach der jeweils anzuwendenden Prioritätsregel sortiert. Dies kann entweder durch die Prioritätsregel, die dem Modell für diesen Simulationslauf vorgegeben wurde, geschehen oder durch die einer bestimmten Maschinengruppe zugehörigen, prinzipbedingten Reihenfolgeregel. Nun belegen die Aufträge nach der Reihenfolge ihrer Anordnung im Maschinen-Puffer die jeweilige Maschine, um nach Ende der Bearbeitung die Warteschlange vor der nächsten Maschinengruppe, auf der der Auftrag weiterbearbeitet werden muss, zu belegen.

Die Anzahl der in einen Maschinen-Puffer aufzunehmenden Aufträge hängt von der Grösse des betreffenden Puffers und von der Zeit, die der Maschine zur Fertigstellung von Aufträgen bis zum Arbeitsende bleibt, ab. Es dürfen nur soviele Aufträge den Puffer betreten, wie auch bis zum Arbeitsende der Maschine fertiggestellt werden können. Die Grösse eines Maschinen-Puffers ist deshalb unterschiedlich, weil das Modell pro Maschinengruppe je einen gleichgrossen Puffer, der nach Anzahl vorhandener Maschinen in dieser Gruppe aufgeteilt wird, vorsieht.

Dies geht von der Annahme aus, dass ein Puffer umso kleiner sein kann, je mehr Maschinen zur Bearbeitung von Aufträgen in einer Gruppe zur Verfügung stehen.

Diese Sachverhalte sind im Programmblock "Buffer" des Modells "SIMTEX" programmiert (Siehe Abschnitt 7.3.5.).

6.4. Probleme und Restriktionen des Modells

6.4.1. Probleme eines deterministischen Modells für Planungszwecke

Bei jedem betrieblichen System machen sich stochastische Umwelteinflüsse bemerkbar. Solche Einflüsse, die die Planungs- und Voraussagemöglichkeit eines derartigen Modells beeinflussen können, sind in der Textilveredlung vor allem:

- zufällige Bearbeitungsfehler an einem Auftrag
- zufällige Maschinendefekte
- zufällige Umleitung eines Auftrages

Diese stochastischen Einflüsse sind im Modell "SIMTEX" bewusst vernachlässigt worden. Es soll im Rahmen dieser Arbeit ausschliesslich nach einer Methode gesucht werden, die zeigt, wie ein Betrieb läuft oder laufen sollte. Sie soll es ermöglichen, über die Wirkung von Entscheidungen (Prioritätsregeln) Schlussfolgerungen ziehen zu können.

Die Nachbildung stochastischer Einflüsse ist ausserdem für Terminplanungszwecke ungeeignet, da meist zufällig solche Aufträge als fehlerhaft behandelt und deshalb verzögert zur Fertigstellung gelangen würden, die in Wirklichkeit ohne Fehler im Betrieb bearbeitet wurden und umgekehrt. Dasselbe gilt für die anderen genannten Störquellen des Systems.

6.4.2. Probleme der Genauigkeit des Modells

Die Genauigkeit der Nachbildung der Wirklichkeit durch das Simulationsmodell wird massgeblich durch die Genauigkeit der einzelnen Modellkomponenten beeinflusst. Ein Modell kann nicht "genau" im absoluten Sinne sein, sondern nur mehr oder weniger zutreffende Genauigkeitsstufen einnehmen. Die Genauigkeit der Daten in bezug auf die wirklichen Verhältnisse sind ein Spiegelbild von Abstraktionen und Kompromissen.

Als Beispiel hierfür soll die Maschinengruppe "Stemplerei", die in der Textillohnveredlung vorkommt, dienen. Jeder Kundenauftrag, der den Betrieb betreten hat, muss zu seiner Identifikation mit einer Erkennungszahl versehen werden. Dies wird an einem oder mehreren Arbeitsplätzen durchgeführt. Für das Modell wird diese an sich manuelle Tätigkeit als kontinuierliche Maschine abstrahiert und mit einer bestimmten Arbeitsgeschwindigkeit in Metern pro Minute versehen. Nun ist aber zu beachten, dass die Arbeitsgeschwindigkeit ganz unterschiedliche Werte annehmen kann, da die Kundenaufträge unterschiedlich gross sind. Das heisst, bei vielen kleinen Aufträgen muss jeder einzelne gestempelt werden, was viel arbeitsintensiver ist als bei Grossaufträgen. Dies ist wiederum nicht das einzige Kriterium, da es sowohl bei kleinen wie bei grossen Aufträgen unterschiedliche Stückgrössen, die alle gestempelt werden müssen, gibt. So bleibt denn für die Simulation der Arbeitsgeschwindigkeit der "Stemplerei" nur ein Kompromiss übrig, in dem versucht wird, je nach dem vorhandenen Produktionsprogramm die Grösse der einzelnen Aufträge nach Artikelgruppen und Jahressaisonzeit ungefähr abzuschätzen und so zu einer durchschnittlichen Arbeitsgeschwindigkeit der Bearbeitungsstation "Stemplerei" zu kommen.

Weitere Genauigkeitsprobleme betreffen die Rüstzeiten der Maschinen. Es wurde schon in einem früheren Kapitel dargelegt, dass in dieser Arbeit die Rüstzeiten von der Reihenfolge der zu bearbeitenden Aufträge als unabhängig angenommen werden. Diese Einschränkung ist notwendig, da es bei keinem einigermassen vertretbaren Aufwand für dieses Modell möglich erscheint, die Übergangsmatrix der Rüstzeiten exakt zu berechnen. Nimmt man nur eine durchschnittliche Betriebsgrösse an, so sind 500 verschiedene Durchlaufsmöglichkeiten der Aufträge durch den Betrieb angemessen. Sind des weiteren durchschnittlich 20 Maschinengruppen von einem Auftragsdurchgang betroffen, so ergeben sich maximal 400 Rüstzeitwerte pro Artikel. Dies ergäbe eine theoretische Übergangsmatrix von maximal 200 000 Werten. Selbst bei Ausschluss der unmöglichen Fälle ist die Übergangsmatrix mit möglichem Aufwand nicht zu füllen. Auch hier stellt ein Kompromiss die Lösung des Genauigkeitsproblems dar, indem für jede Maschine eine durchschnittliche Maschinenrüstzeit auftragsfolgeunabhängig angenommen wird.

6.4.3. Probleme des Planungshorizonts des Modells

Systeminhärent ist jeglichen diskreten Simulationsmodellen, dass sie nur über einen relativ kurzfristigen Horizont verfügen, der durch den gegenwärtig gegebenen Ereignisraum bestimmt ist. Als Beispiel dafür sollen Probleme dienen, die mit der Ankunft von Aufträgen von ausserhalb und innerhalb des Modells im Zusammenhang stehen. Das Modell kann nicht erkennen, dass weitere Aufträge den Betrieb betreten werden, solange diese noch nicht in der Warteschlange der ersten Maschinengruppe eingetroffen sind. Dies bedeutet, dass Prozesse oder Bearbeitungen von Aufträgen begonnen werden, die in Wirklichkeit mit anderen Aufträgen, die das Modell erst später betreten, zusammen bearbeitet werden. Ähnliches gilt innerhalb des Modells. Zum Starten eines diskontinuierlichen Prozesses mit vorangehender Warensammlung kann das Modell nur die Kriterien "erreichte Mindestmenge" und / oder "Startzeit" heranziehen. In Wirklichkeit aber kann eine Startverzögerung der Maschine eine bessere Belegung bedingen. Wie lange aber das Modell im Einzelfall auf

eintreffende Aufträge warten sollte, kann bei der Vielzahl der möglichen Varianten nicht programmiert werden.

6.5. Behandlung von Spezialproblemen der Textillohnveredlung

6.5.1. Vereinigung und Trennung von Aufträgen, die gemeinsam bearbeitet werden sollen

In der Textillohnveredlung ist es üblich, Aufträge, die ganz oder teilweise dieselben Kriterien aufweisen, gemeinsam zu bearbeiten. Solche Kriterien sind:

- gleicher Artikel
- gleiche Warenbreite
- gleiche Prozesszeit
- gleiche Farbe

Solche Aufträge werden für die gemeinsame Bearbeitung über eine oder mehrere Maschinengruppen zusammengenäht und an den jeweiligen Trennungsorten wieder auseinandergetrennt. Dies bedeutet für die Simulation, dass nicht mehr eine grosse Menge kleiner Einzelaufträge, sondern eine kleinere Menge von Grosspartien durch das Modell zu führen sind.

Um diese Vereinigungsprozesse der Kundenaufträge nachzubilden, wird wiederum die Prozesseinheit "Maschinengruppenwarteschlange - Maschinenpuffer" herangezogen. Es werden nur diejenigen Aufträge aus einer Warteschlange ausgewählt und in den Puffer gegeben, die auch gemeinsam an diesem Arbeitstag auf der betreffenden Maschine bearbeitet werden können. Dabei werden die Restriktionen der Maschine beachtet. Auf diese Weise können Aufträge als zusammenhängend simuliert werden, ohne dass die einzelnen Aufträge ihre Identität verlieren. Nach der Bearbeitung auf einer Maschine sind die Aufträge wieder getrennt und können neue Verbindungen mit denselben oder mit anderen Aufträgen für die Bearbeitung auf der nächsten Maschinengruppe eingehen.

6.5.2. Warensammelprozess

Wie schon im Abschnitt über die diskontinuierliche Maschine erwähnt, können vor einer solchen Maschine sogenannte Warensammelprozesse stattfinden. Solche Prozesse sind notwendig, um für den Start einer langandauernden diskontinuierlichen Bearbeitung eine genügende Anzahl von Aufträgen zu sammeln. Als genügend wird eine Auftragsmenge angesehen, die das minimale Belegungsgewicht der betreffenden Maschine erreicht, damit der Prozess vonstattengehen kann. Gleichzeitig können aber nur soviele Aufträge am Warensammelprozess teilhaben, wie mit dem maximalen Fassungsvermögen der Maschine vereinbar sind. Dies wird dadurch bewerkstelligt, dass wiederum nur die Aufträge, die das maximale Fassungsvermögen nicht überschreiten, den Maschinen-Puffer betreten dürfen. Beendet werden kann ein Warensammelprozess nicht nur durch das Erreichen einer Mindestbelegung, sondern auch durch eine vorgegebene Maschinenstartzeit, die die Maschine zum Beginn des Prozesses veranlasst.

6.5.3. Maschinen und Prozesse mit feststehender Prioritätsregel

Das Modell erlaubt, dass Maschinengruppen ihre eigene maschinengebundene Prioritätsregel aufweisen können. Ist in den Maschinendaten eine solche definiert, so wird sie, gegenüber der dem Modell für einen Simulationslauf vorgegebenen Prioritätsregel, für diese Maschinengruppe vorgezogen.

Als Beispiel sollen vier hintereinander aufgestellte kontinuierliche Maschinen dienen. Die erste arbeitet mit der Regel "first come, first served". Daraus ergibt sich, dass die folgenden Maschinen abwechselnd LCFS (last come, first served) und FCFS (first come, first served) als maschinengebundene Prioritätsregel anzuwenden haben, da die Aufträge nicht frei beweglich, sondern miteinander verbunden sind. Voraussetzung ist, dass alle Aufträge alle Maschinen in der gegebenen Reihenfolge durchlaufen.

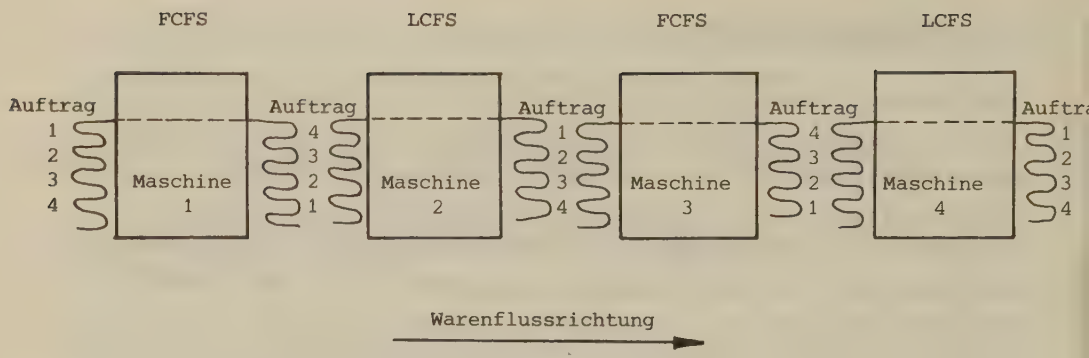


Bild 8: Prozessgebundene Prioritätsregel

6.5.4. Probleme technologischer Prozesse, gezeigt am Beispiel der diskontinuierlichen Färberei

Wie schon in den vorhergehenden Kapiteln gezeigt, sind bei der Modellsimulation eines Textillohnveredlungsbetriebes manigfaltige Probleme technologischer Art zu lösen. Doch wie jedes Modell, hat auch dieses Grenzen in bezug auf die Feinheit, mit der es dargestellt werden kann. Als Beispiel dazu soll das Färben von Textilien auf einer diskontinuierlichen Färbemaschine (Färbehaspelkufe, Jigger, HT-Apparat, Jet) dienen.

Simulationsrelevante Parameter sind:

- Auswahl des Färbeverfahrens (welche Maschinengruppe)
- Auswahl der Maschinengrösse
- Festlegung der Färbezeit

Damit ist der Vorgang des Färbens eines Auftrages auf einer Färbemaschine simulationstechnisch hinreichend definiert.
Die Auswahl des Färbeverfahrens und der zuerst farbhelligkeitsunabhängig angenommenen Färbezeit ist abhängig von der Art des

Artikels und wird aus dem Waren - Maschinendurchlauf - File ausgewählt. Diese Färbezeit wird nun mit dem in den Auftragsdaten befindlichen Helligkeitswert (hell, mittel, dunkel) der Färbung verglichen und die Färbezeit entsprechend korrigiert, da diese wegen der wechselnden Anzahl vom Spülprozessen helligkeitsabhängig ist. Des weiteren wird noch die passende Maschinengrösse ausgewählt, deren maximales Fassungsvermögen wegen den Bedingungen des Flottenverhältnisses (66) in einem bestimmten Verhältnis zur Warenmenge stehen muss. Soweit ist alles im Simulationsmodell für die Textillohnveredlungsindustrie erfasst. Doch nun existieren weitere Bedingungen, die das zeitliche Verhalten eines Färbeprozesses beeinflussen können. Hier ist zunächst das Bestreben zu nennen, die Reihenfolge der Färbungen im Laufe eines Arbeitstages von "hell" nach "dunkel" durchzuführen. Dies deshalb, um zeitaufwendige Reinigungen der Färbemaschinen möglichst zu vermeiden. Allerdings kann diese Forderung der helligkeitsabhängigen Reihenfolge in der Praxis aus Kapazitäts- und Dringlichkeitsgründen nicht immer eingehalten werden. Es ist also eine Prioritätsregel vorhanden, die nicht zeit- oder mengengebunden, sondern qualitätsabhängig ist. Da diese Regel aber nur zufällig eingehalten wird, wurde auf ihre Berücksichtigung bei der Simulation verzichtet.

Schliesslich existieren noch Probleme, die durch fehlerhafte Färbungen (Farbton, -helligkeit) bedingt sind. Diese zählen zu den stochastischen Einflüssen, für die das in Abschnitt 6.4.1. Gesagte gilt und die in diesem deterministischen Modell ebenfalls nicht behandelt sind.

---

66) Flottenverhältnis = Verhältnis zwischen der Flüssigkeitsmenge der wässrigen Farblösung (Liter) und dem Warengewicht (Kilogramm)

7. Die Implementation der Job Shop - Simulation auf dem Minicomputer

7.1. Die geeignete Hardware

Das Job Shop - Simulationsmodell SIMTEX ist für die Anwendung auf einem Minicomputer konzipiert. Unter dem Begriff "Minicomputer" sind freiprogrammierbare Digitalrechner von kleiner Baugrösse zu verstehen, die im wesentlichen aus bipolaren SSI- (Small Scale Integration) und MSI- (Medium Scale Integration) Schaltkreisen aufgebaut sind. Sie besitzen eine Wortstruktur mit einer Wortlänge von 12 - 18 bits und einen Zentralspeicher mit einem Speichervermögen von normalerweise 4 - 32 KW (Kiloworte).

Ist der Zentralspeicher grösser, so verfügt er meist über eine Zentralspeicherverwaltung (Memory Management Module). Bei Minicomputern mit einem Zentralspeicher von über 32 KW ist eine Abgrenzung zum mittelgrossen Computer gegeben.

Für die Entwicklung und die Lauftests des Programmpaketes SIMTEX stand ein Minicomputer der Type DEC PDP-8/E mit 24 KW (12-bit Worte), Plattenspeicher mit Wechselplatten, Kartenleser und Zeilendrucker zur Verfügung.

Die durchschnittliche Verarbeitungsgeschwindigkeit des in FORTRAN IV programmierten Modells liegt mit diesem Rechner bei ca. 3 sec pro Modelldurchlauf (= 1 Fertigstellung und bedingte Zugänge).
Die Laufzeit des Modells auf dieser Rechenanlage ist relativ lang. Um eine wesentliche Senkung der Rechenzeiten auf 0,2 - 0,5 sec pro Modelldurchlauf zu erreichen, ist folgende Konfiguration angezeigt:

- CPU mit 32 KW
- Hardware-Rechenwerk (Floating Point Processor)
- Festkopf-Magnetplattenspeicher (Verkürzung der Lese- und Schreiboperation auf den Datenfiles)

7.2. Auswahl der Programmiersprache

Für Minicomputer sind Simulationssprachen wie SIMSCRIPT, SIMULA, GPSS und andere, die auf Grosscomputern Verwendung finden, gegenwärtig nicht erhältlich (67). So liegt es nahe, für Simulationen problemorientierte höhere Programmiersprachen zu verwenden. Besonders geeignet dazu erscheinen die technisch-wissenschaftlich orientierten Sprachen FORTRAN IV, ALGOL 60 und PL/I.

Da Minicomputer meist amerikanischer Provenienz sind, werden mehrheitlich FORTRAN IV Compiler angeboten. Die in Europa entwickelte ALGOL 60 Sprache ist weniger verbreitet und PL/I ist gegenwärtig nur für ein Minicomputersystem erhältlich.

So ist die Entscheidung zur Verwendung von FORTRAN IV für Simulationszwecke gegeben. Allerdings wurden in den letzten Jahren auf FORTRAN IV basierende Simulationssysteme wie GASP (68, 69) und FGPSS (70) entwickelt. Während GASP ein System mit Modellkonzept und Ablaufsteuerung ist, handelt es sich bei FGPSS um ein System mit vorgegebenen Modellkomponenten.
Beide Systeme haben zwar den Vorteil schneller Programmierbarkeit, beide sind aber sehr umfangreich und zum Teil in ihrer Konfiguration schwerfällig. Sie erfordern zudem relativ viel Speicherplatz (Beispiel: FGPSS verfügt über eine Ereignisliste von 21 Variablen pro Ereignis gegenüber 3 Variablen pro Ereignis beim dargestellten Modell).

Aus diesen Gründen wurde zur Programmierung des Simulationssystems SIMTEX kein auf FORTRAN IV basierendes System verwendet, sondern die Modellkomponenten direkt in FORTRAN IV programmiert.

---

67) Bauknecht K. und Nef W.: Digitale Simulation, Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Systems, Berlin-Heidelberg-New York 1971, S. 164
68) Pritsker A.A.B., Kiviat P.J.: Simulation with GASP II, A FORTRAN Based Simulation Language, Englewoods Cliffs 1969
69) Pritsker A.A.B.: The GASP IV Simulation Language, New York 1974
70) Niemeyer G.: Die Simulation von Systemabläufen mit Hilfe von FORTRAN IV: GPSS auf FORTRAN-Basis, Berlin-New York 1972

FORTRAN IV als Simulationssprache hat zur Programmierung von Simulationsmodellen folgende

Vorteile:
- Keine zusätzliche Sprache muss erlernt werden
- Keine einschränkenden Modellkomponenten
- Relativ schnelle Ausführungszeit
- Universelle Einsetzbarkeit des Modells auf den meisten Rechenanlagen

Nachteile:
- Hoher Programmieraufwand
- Mühsames "debugging"
- Keine Kettenverarbeitungsmöglichkeit
- Ein-/Ausgabeprogrammierung unflexibel

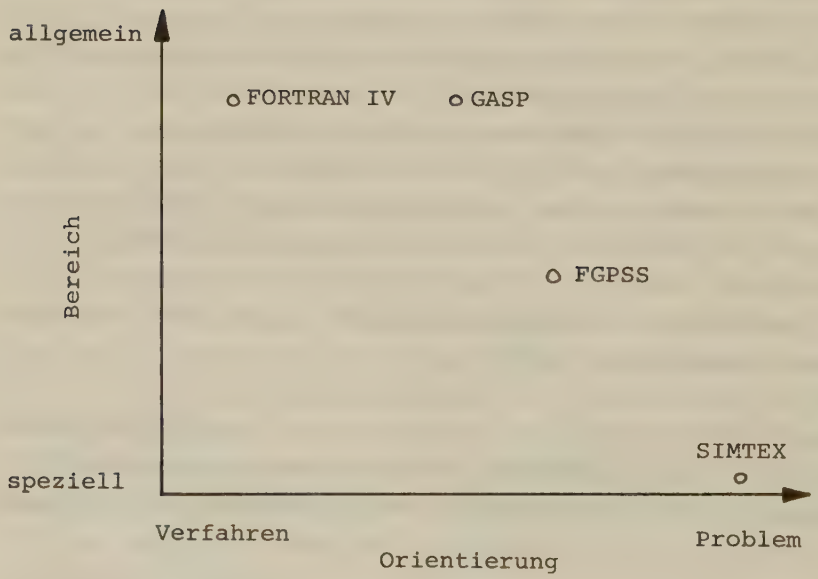


Bild 9: FORTRAN IV und davon abgeleitete Systeme klassifiziert im Verhältnis zum speziellen Problem SIMTEX

7.3. Die Programmierung des Modells "SIMTEX"

7.3.1. SIMTEX - Ein blockorientiertes Simulationssystem

Das Simulationsprogrammpaket SIMTEX ist in seinem Aufbau dem Blockkonzept des GPSS (71) nachgebildet. Es steht ein Hauptprogramm, das die Zeit- und Ereignissteuerung übernimmt und in das die einzelnen Funktionsblöcke als Unterprogrammaufrufe eingebettet sind, zur Verfügung. Diese Funktionsblocktechnik ermöglicht es, eine Vielzahl von mit verschiedensten Parametern (Maschinen, Aufträge, Waren-Maschinen-Durchläufe) ausgestatteten Textillohnveredlungsbetrieben mit geringem Zeitaufwand als Modell zu simulieren. Die Blöcke beschreiben jeweils fest umrissene Teilaktionen, die für die ereignisorientierte Simulation eines Betriebes notwendig sind.

Das Simulationsmodell stellt 25 Funktionsblöcke zur Verfügung, die zu folgenden Aktionen dienen:

- Initialisierung und Belegung des Systems zur Startzeit (SSTART und BSTART)
- Auswahl der Aufträge für eine Maschine (BUFFER)
- Belegen einer Maschine mit einem Auftrag (BELFAC)
- Fertigstellung eines Auftrages auf einer Maschine (FINFAC)
- Startversuch einer Maschine zur vorgegebenen Zeit (STRFAC)
- Belegen eines Speichers mit einem Auftrag (BELSTO)
- Freigabe eines Auftrages aus einem Speicher (FINSTO)
- Startversuch eines Speichers zur vorgegebenen Zeit (STRSTO)

---

71) IBM: General Purpose Simulation System / 360. Introductory User's Manual; Form Nr. GH20-0304-4

- Belegen einer Verweilstation mit einem Auftrag (BELVER)
- Freigabe eines Auftrages aus einer Verweilstation (FINVER)
- Auffinden der nächsten Maschinengruppe für die Bearbeitung eines Auftrages (MFFIND)
- Erstellen einer Auftragsstatistik der erledigten Aufträge (JSTAT)
- Verfolgen der Startzeiten der Aufträge auf Maschinen, Speichern und Verweilstationen (JSTAT2)
- Report über die unerledigten Aufträge, die sich noch im Modell befinden (JSTAT3)
- Erstellen einer Maschinenstatistik (MGSTAT)
- Die Blöcke der Prioritätsregeln:
  - First come, first served (FCFS)
  - Last come, first served (LCFS)
  - Kürzeste Operationszeit (KOZ)
  - Längste Operationszeit (LOZ)
  - Grösste Summe der ausstehenden Operationszeiten (GSAOZ)
  - Grösste Anzahl der ausstehenden Operationszeiten (ANZAHL)
  - Kleinster Soll-Fertigstellungstermin (TERMIN)
  - Kleinste Schlupfzeit (SCHLPF)
  - Kombinierte Regel nach Le Grande (MINSOP)
  - Kombinierte Regel nach Conway (CONWAY)

Ausserdem gehören zum Simulator noch weitere Programme:

- Programm zum Sortieren der Aufträge nach dem Sortierkriterium (JSORT)
- Programm zur Erstellung des Input-Files der Kundenaufträge aus dem heutigen File und dem der Vortage (INFILE)
- Programm zur Erstellung eines Parameter-Files für Batch-Verarbeitung mehrerer Simulationstage (SBATCH)
- Programm zur Definition des Maschinenparks (FACSET)
- Programm zur Erstellung des Waren-Maschinen-Durchlauf-Files (WMLAUF)
- Programm zur Erstellung des täglichen Kundenauftrags-Files (JOBSET)

Detaillierte Flussdiagramme des Modells SIMTEX befinden sich im Anhang.

7.3.2. Das Systemsteuerprogramm SIM3

Das Hauptprogramm SIM3 dient dazu, die Steuerfunktion des Simulators für die verschiedenen Vorgänge zu übernehmen:

- Aufruf des Initialisierungs-Subprogramms
- Aufnahme von Neuzugängen in das Modell
- Suchen der niedrigsten Ereigniszeit
- Prüfen, ob Simulation zu Ende ist
- Ereignisse (Startversuch, Belegung, Fertigstellung) auf die ausführenden Blöcke (Subprogramme) verteilen
- Aufrufen der Programmblöcke, die die Aktionen auf den Bearbeitungsstationen simulieren
- Auffinden der nächsten Bearbeitungsstelle von Aufträgen (Durch die Fertigstellung eines Auftrages bedingtes Ereignis)
- Fertigstellung von Aufträgen festhalten und Ereignisliste auf aktuelle Länge bringen
- Fertige Aufträge aus dem System eliminieren
- Aufruf der Statistik-Subprogramme

Die Ereignisliste besteht aus den drei eindimensionalen Variablenfeldern JEVT1(J), JEVT2(J), JEVT3(J), wobei folgende Werte bzw. Ereignisse abgespeichert werden:

JEVT1(J) = T: Modellzeit
JEVT2(J) = 1: Ereignis ist ein Zugang in eine Maschinengruppe
JEVT2(J) = 2: Ereignis ist eine Fertigstellung in einer Maschinengruppe
JEVT2(J) = 3: Ereignis ist ein Zugang in einem Speicher
JEVT2(J) = 4: Ereignis ist eine Freigabe aus einem Speicher

JEVT2(J) = 5: Ereignis ist der Startversuch einer Maschinengruppe
JEVT2(J) = 6: Ereignis ist der Startversuch eines Speichers
JEVT2(J) = 7: Ereignis ist ein Zugang in eine Verweilstation
JEVT2(J) = 8: Ereignis ist eine Freigabe aus einer Verweilstation
JEVT3(J) Enthält die Auftragsnummer, wenn
JEVT2(J) = 1, 3 oder 7 (Zugang)
JEVT3(J) Enthält die Maschinengruppennummer, wenn
JEVT2(J) = 2, 4, 5, 6 oder 8 (Fertigstellung, Startversuch)

Im Auftrags-Record führen die Aufträge die jeweilige Maschinengruppennummer (1-99) als Zustandsanzeige (JOBZST) mit sich:

JOBZST < 100 bedeutet: Auftrag wird bearbeitet
JOBZST > 100 bedeutet: Auftrag wartet
JOBZST = 201 bedeutet: Auftrag ist fertiggestellt

Zur Definition der Datenfelder besitzt der Simulator vier getrennte COMMON - Bereiche:

IDEF: Ereignis- und Auftragsliste
IDEF2: Feldlängendefinitionen, Definitionen zur Zeit- und Ereignissteuerung, Hilfsvariable
JREC: Variable des Auftrags-Records
MREC: Variable des Maschinen-Records

Die Daten, die der Simulator benötigt, befinden sich auf Massenspeichern und werden von dort nach Bedarf in den COMMON - Bereich eingegeben und wieder zurückgeschrieben. Dazu gehören:

INFILE : Input-File der Kundenaufträge
JOBREC : Kundenauftrags-File, das abgearbeitet wird
JOBK1 : File mit den zu bearbeitenden Auftragsnummern

STATRC : File der fertigen Aufträge (für Statistik)
BEFILE : File, das die Records der Maschinengruppen enthält
WMLAUF : Waren- Maschinen-Durchlauf-File
SBATCH : File der Inputparameter für Batch-Verarbeitung mehrerer Simulationstage

Das File INFILE wird in einem Vorprogramm aus den Files:

JSCRAT : File der noch nicht bearbeiteten Aufträge der Vortage
JOBSET : File der Kundenaufträge von heute

zusammengesetzt, wobei die Aufträge der Vortage, die noch nicht bearbeitet wurden, als erste zum Zeitpunkt T = O das Modell betreten.

Das Systemsteuerprogramm SIM3 besitzt zwei Besonderheiten:

- dynamische Ereignisliste
- Art der Bearbeitung zeitgleicher Ereignisse

Die Ereignisliste ist so ausgelegt, dass sie bei Wegfall von Ereignissen um deren Anzahl gekürzt oder bei neu hinzukommenden Ereignissen verlängert wird. Dies optimiert den Durchsuchvorgang der Ereignisliste und ergibt eine beträchtliche Zeitersparnis, da die Ereignisliste je nach Ereignishäufigkeit oft tausende Male während eines Simulationslaufes durchsucht werden muss. Normalerweise wird in einem Simulationsmodell beim Durchsuchen der Ereignisliste nicht darauf geachtet, ob die Ereignisse die gleiche Modellzeit besitzen. Dies bedeutet, dass für zeitgleiche Ereignisse jedesmal die Ereignisliste aufs neue durchsucht werden muss, was sehr zeitaufwendig ist.

Im Steuerprogramm SIM3 wurde dies vermieden, indem beim Durchsuchen der Ereignisliste die Zeilennummern zeitgleicher Ereignisse in ein eigenes Datenfeld eingetragen werden. Hieraus können dann ohne Durchsuchen die Ereignisse direkt aus der Ereig-

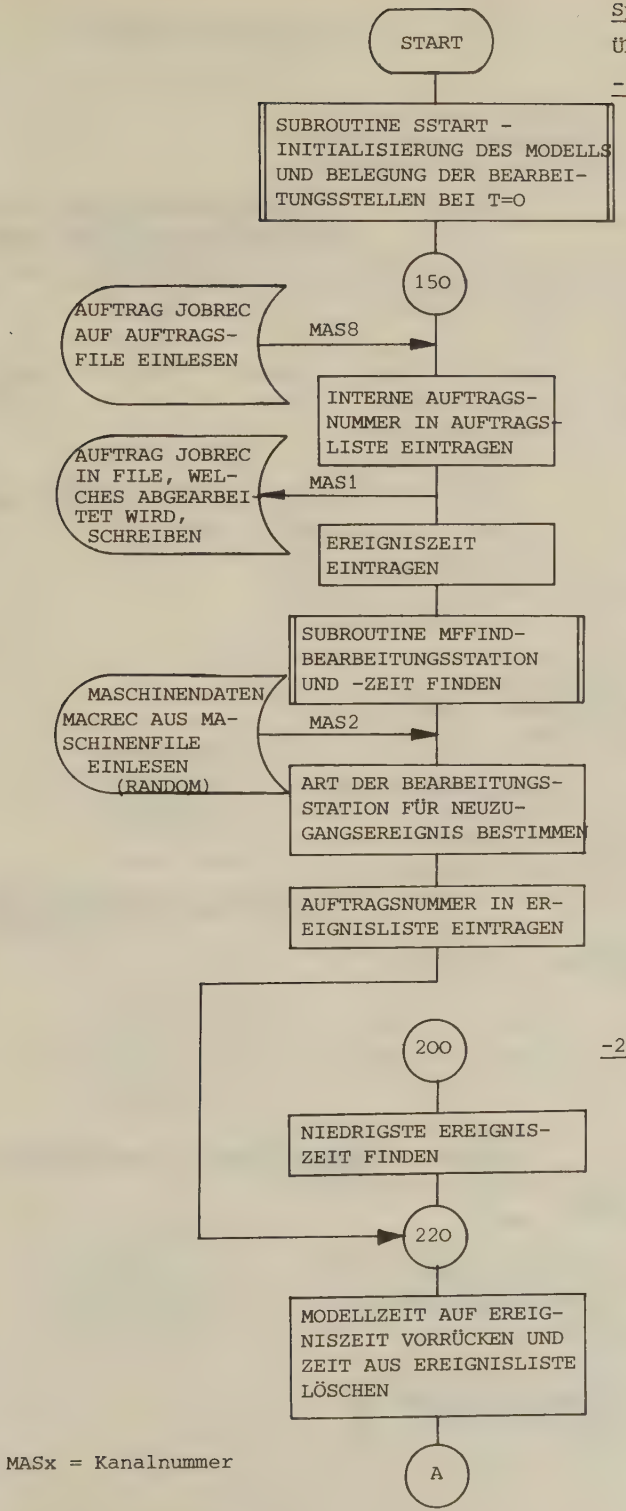
nisliste geholt werden. Für dieses Modell wurde auf empirische Weise die optimale Anzahl zeitgleicher Ereignisse ermittelt, bei der eine Eintragung in das Datenfeld für zeitgleiche Ereignisse vorteilhaft ist. Die untere Grenze für die Eintragung liegt bei 3 Ereignissen, da für nur 2 das Durchsuchen der Ereignisliste ebenso schnell vor sich geht. Die obere Grenze dürfte bei 10 zeitgleichen Ereignissen liegen, da sonst für das Eintragen und Herauslesen der zeitgleichen Ereignisse mehr Zeitaufwand notwendig ist als beim oftmaligen Durchsuchen der Ereignisliste Zeit eingespart werden kann. Diese Werte sind natürlich von der Grösse der Ereignisliste abhängig.

Anschliessend ist das Programm SIM3 als grobes Übersichtsprogramm dargestellt.

Systemsteuerprogramm SIM3

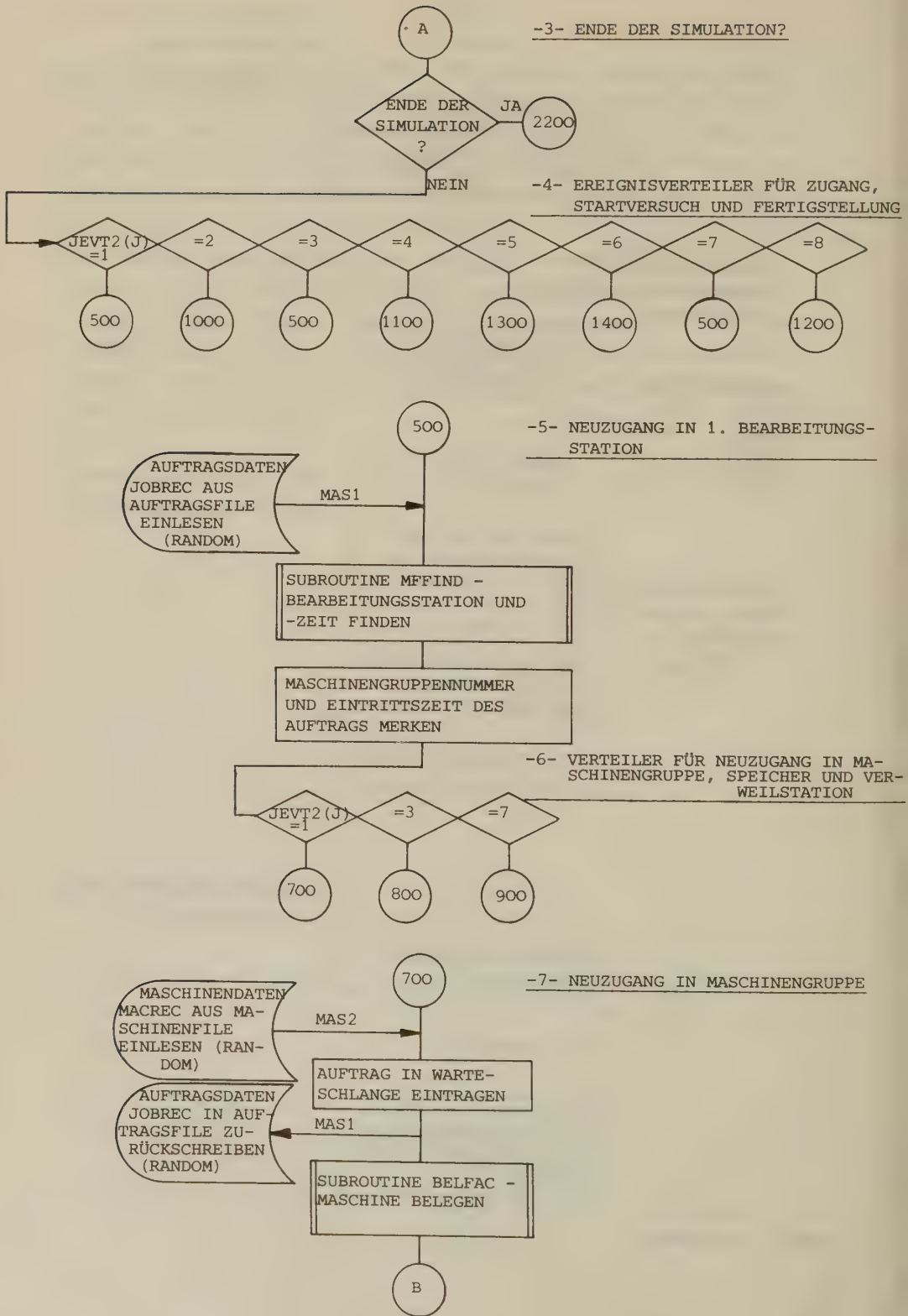
Übersichtsdiagramm

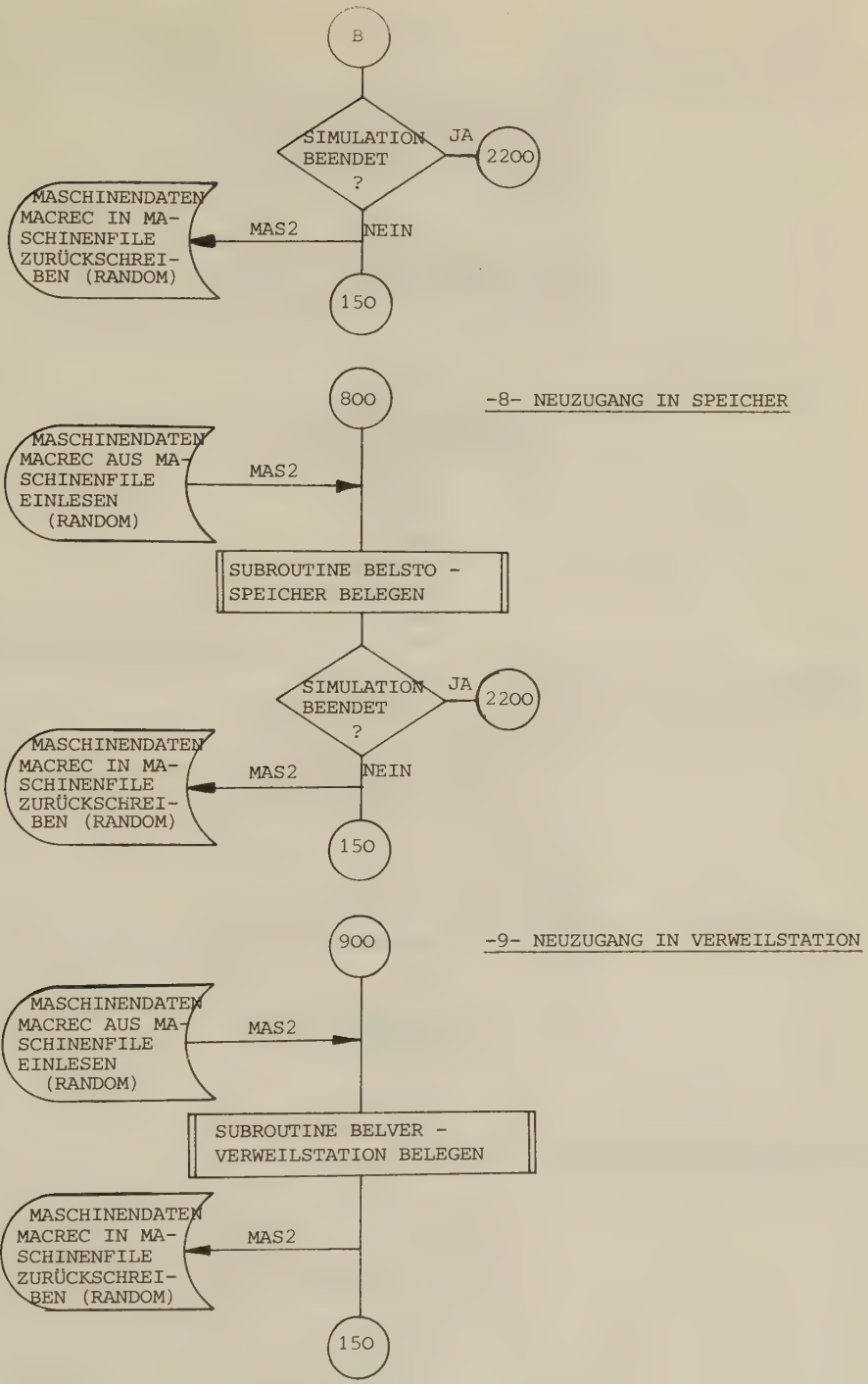
-1- NEUZUGÄNGE BEI T=KLOCK

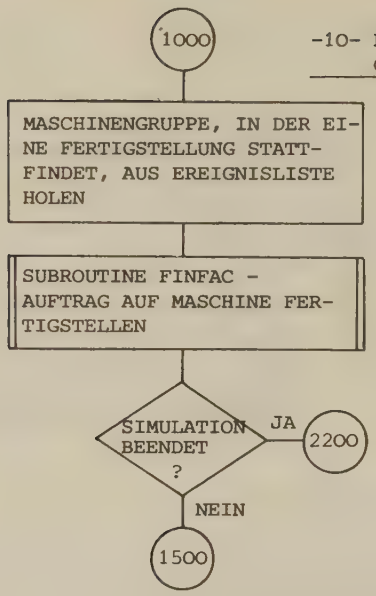


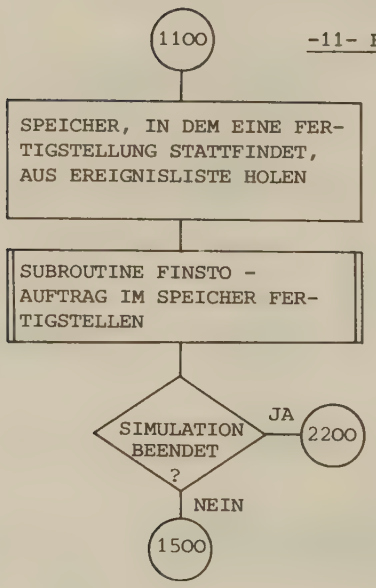
-2- SUCHEN DER NIEDRIGSTEN EREIGNISZEIT

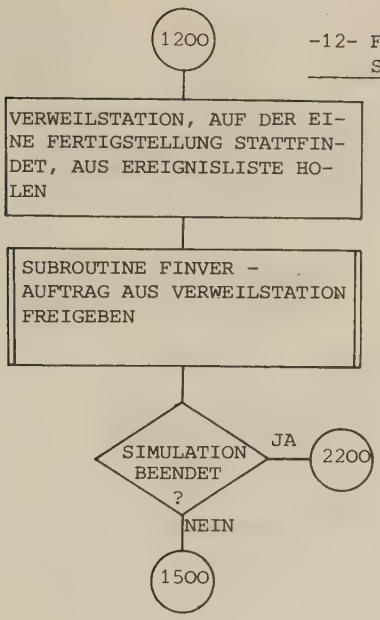
MASx = Kanalnummer


A
-3- ENDE DER SIMULATION?
ENDE DER SIMULATION ?
JA
2200
NEIN
-4- EREIGNISVERTEILER FÜR ZUGANG, STARTVERSUCH UND FERTIGSTELLUNG
JEVT2(J) =1
=2
=3
=4
=5
=6
=7
=8
500
1000
500
1100
1300
1400
500
1200
500
-5- NEUZUGANG IN 1. BEARBEITUNGS-STATION
AUFTRAGSDATEN JOBREC AUS AUFTRAGSFILE EINLESEN (RANDOM)
MAS1
SUBROUTINE MFFIND - BEARBEITUNGSSTATION UND -ZEIT FINDEN
MASCHINENGRUPPENNUMMER UND EINTRITTSZEIT DES AUFTRAGS MERKEN
-6- VERTEILER FÜR NEUZUGANG IN MASCHINENGRUPPE, SPEICHER UND VERWEILSTATION
JEVT2(J) =1
=3
=7
700
800
900
700
-7- NEUZUGANG IN MASCHINENGRUPPE
MASCHINENDATEN MACREC AUS MASCHINENFILE EINLESEN (RANDOM)
MAS2
AUFTRAG IN WARTESCHLANGE EINTRAGEN
AUFTRAGSDATEN JOBREC IN AUFTRAGSFILE ZURÜCKSCHREIBEN (RANDOM)
MAS1
SUBROUTINE BELFAC - MASCHINE BELEGEN
B

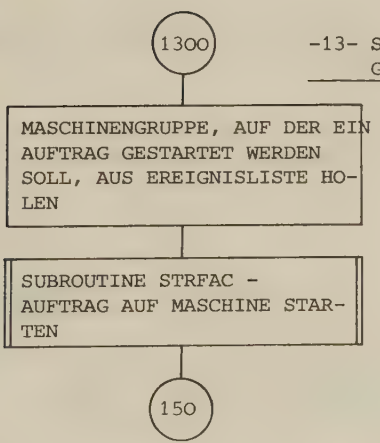

B
SIMULATION BEENDET ?
JA
2200
NEIN
MAS2
MASCHINENDATEN MACREC IN MA-SCHINENFILE ZURÜCKSCHREI-BEN (RANDOM)
150
800
-8- NEUZUGANG IN SPEICHER
MASCHINENDATEN MACREC AUS MA-SCHINENFILE EINLESEN (RANDOM)
MAS2
SUBROUTINE BELSTO - SPEICHER BELEGEN
SIMULATION BEENDET ?
JA
2200
NEIN
MAS2
MASCHINENDATEN MACREC IN MA-SCHINENFILE ZURÜCKSCHREI-BEN (RANDOM)
150
900
-9- NEUZUGANG IN VERWEILSTATION
MASCHINENDATEN MACREC AUS MA-SCHINENFILE EINLESEN (RANDOM)
MAS2
SUBROUTINE BELVER - VERWEILSTATION BELEGEN
MASCHINENDATEN MACREC IN MA-SCHINENFILE ZURÜCKSCHREI-BEN (RANDOM)
MAS2
150


1000
-10- FERTIGSTELLUNG IN MASCHINEN-GRUPPE
MASCHINENGRUPPE, IN DER EINE FERTIGSTELLUNG STATTFINDET, AUS EREIGNISLISTE HOLEN
SUBROUTINE FINFAC - AUFTRAG AUF MASCHINE FERTIGSTELLEN
SIMULATION BEENDET ?
JA
2200
NEIN
1500

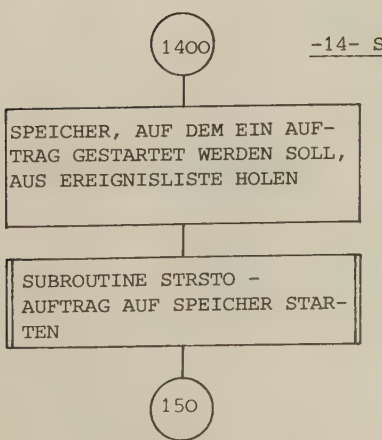

1100
-11- FERTIGSTELLUNG IN SPEICHER
SPEICHER, IN DEM EINE FERTIGSTELLUNG STATTFINDET, AUS EREIGNISLISTE HOLEN
SUBROUTINE FINSTO - AUFTRAG IM SPEICHER FERTIGSTELLEN
SIMULATION BEENDET ?
JA
2200
NEIN
1500



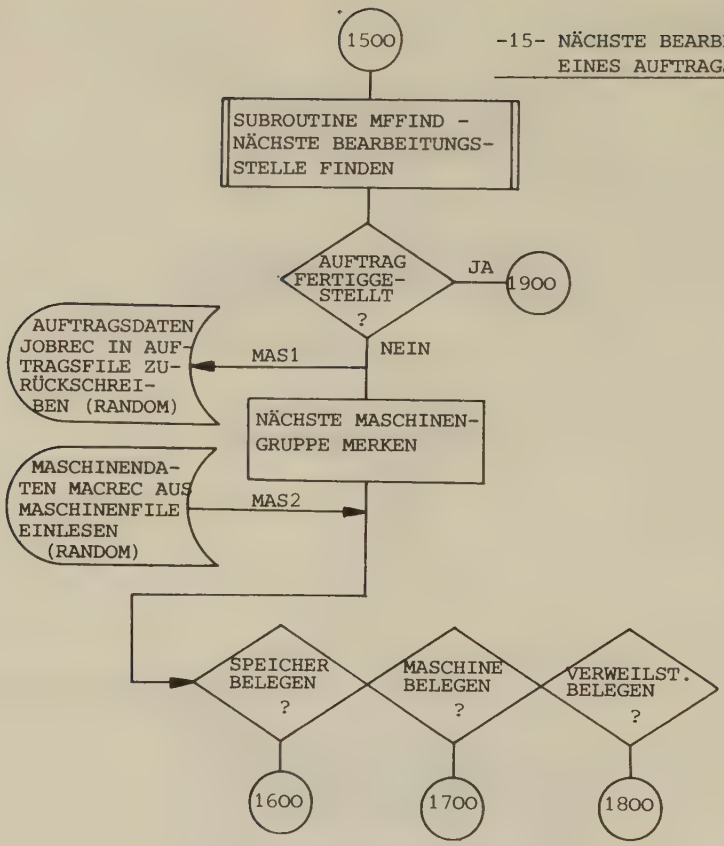
-12- FERTIGSTELLUNG IN VERWEILSTATION

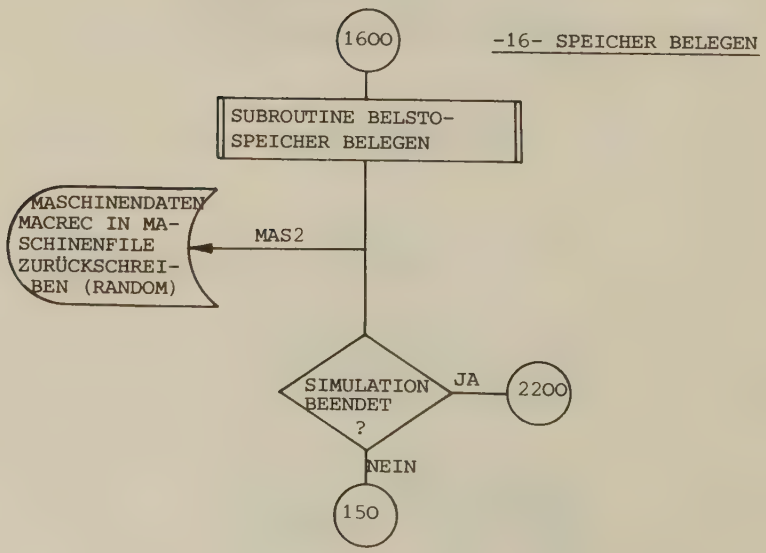

1300
MASCHINENGRUPPE, AUF DER EIN AUFTRAG GESTARTET WERDEN SOLL, AUS EREIGNISLISTE HOLEN
SUBROUTINE STRFAC - AUFTRAG AUF MASCHINE STARTEN
150

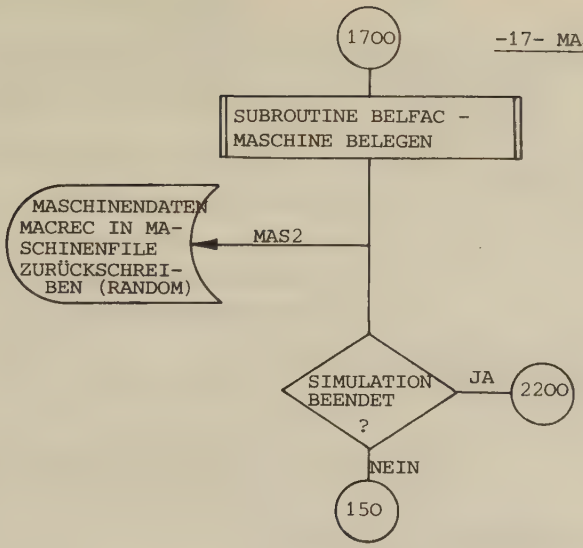
-13- STARTVERSUCH IN MASCHINENGRUPPE

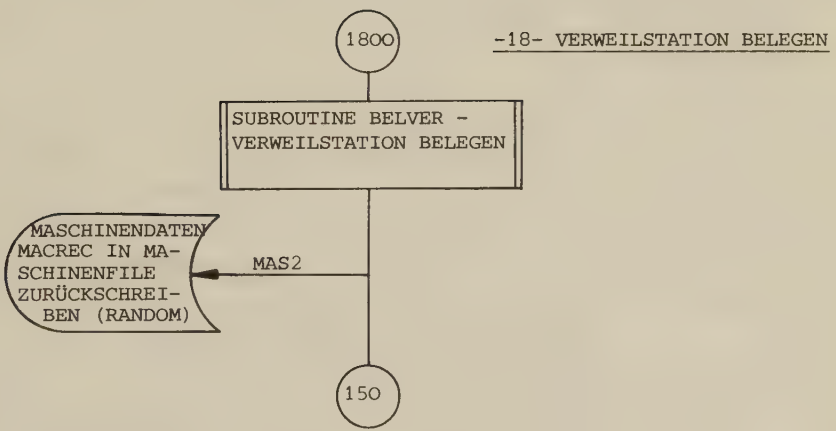

1400
SPEICHER, AUF DEM EIN AUFTRAG GESTARTET WERDEN SOLL, AUS EREIGNISLISTE HOLEN
SUBROUTINE STRSTO - AUFTRAG AUF SPEICHER STARTEN
150

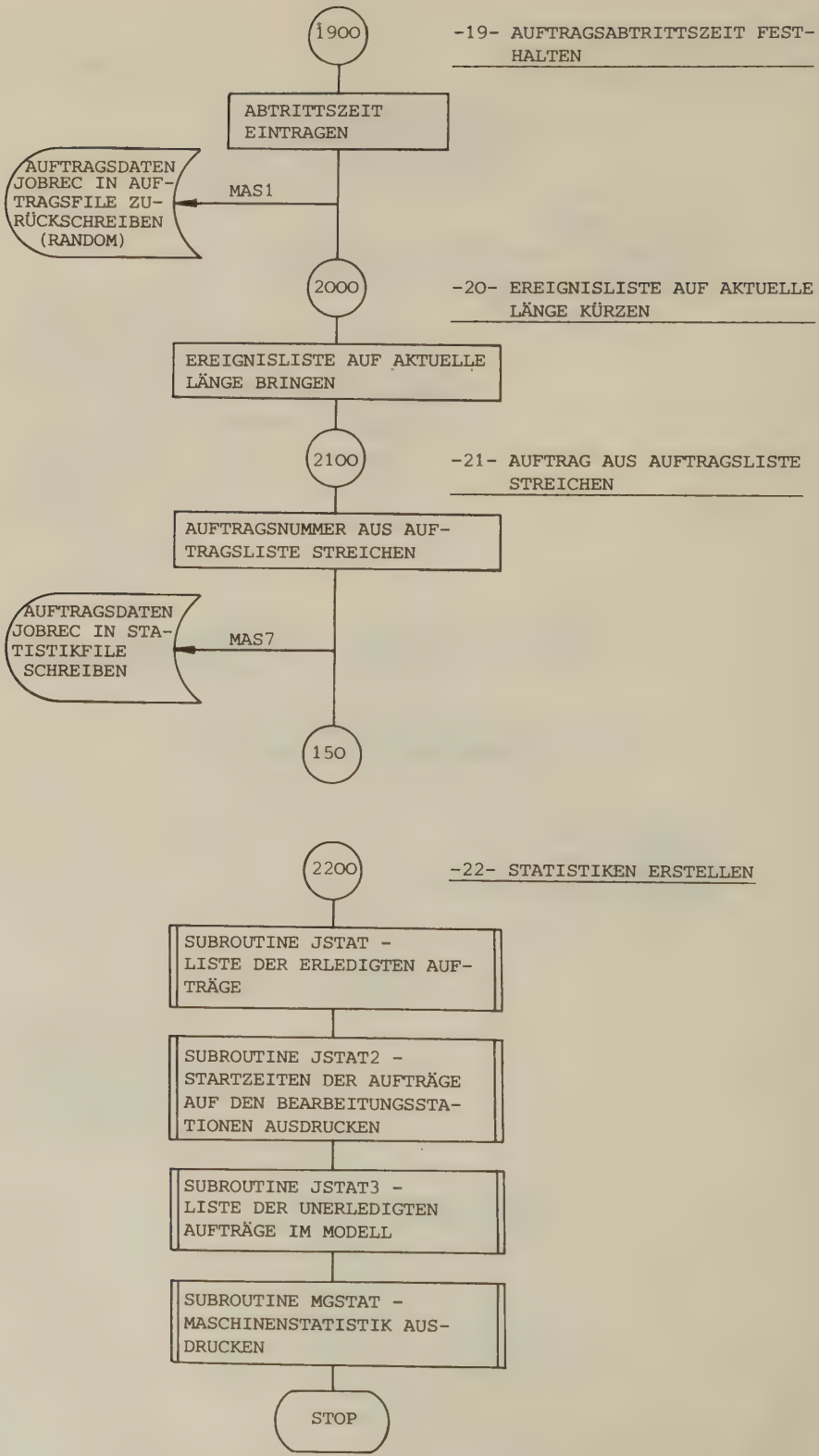
-14- STARTVERSUCH EINES SPEICHERS


1500
-15- NÄCHSTE BEARBEITUNGSSTELLE EINES AUFTRAGS FINDEN
SUBROUTINE MFFIND - NÄCHSTE BEARBEITUNGS-STELLE FINDEN
AUFTRAG FERTIGGE-STELLT ?
JA
1900
NEIN
AUFTRAGSDATEN JOBREC IN AUF-TRAGSFILE ZU-RÜCKSCHREI-BEN (RANDOM)
MAS1
NÄCHSTE MASCHINEN-GRUPPE MERKEN
MASCHINENDA-TEN MACREC AUS MASCHINENFILE EINLESEN (RANDOM)
MAS2
SPEICHER BELEGEN ?
MASCHINE BELEGEN ?
VERWEILST. BELEGEN ?
1600
1700
1800


1600
-16- SPEICHER BELEGEN
SUBROUTINE BELSTO-SPEICHER BELEGEN
MASCHINENDATEN MACREC IN MA-SCHINENFILE ZURÜCKSCHREI-BEN (RANDOM)
MAS2
SIMULATION BEENDET ?
JA
2200
NEIN
150


1700
-17- MASCHINE BELEGEN
SUBROUTINE BELFAC - MASCHINE BELEGEN
MASCHINENDATEN MACREC IN MA-SCHINENFILE ZURÜCKSCHREI-BEN (RANDOM)
MAS2
SIMULATION BEENDET ?
JA
2200
NEIN
150


1800
-18- VERWEILSTATION BELEGEN
SUBROUTINE BELVER - VERWEILSTATION BELEGEN
MASCHINENDATEN MACREC IN MA-SCHINENFILE ZURÜCKSCHREI-BEN (RANDOM)
MAS2
150


1900
-19- AUFTRAGSABTRITTSZEIT FEST-
HALTEN
ABTRITTSZEIT
EINTRAGEN
AUFTRAGSDATEN
JOBREC IN AUF-
TRAGSFILE ZU-
RÜCKSCHREIBEN
(RANDOM)
MAS1
2000
-20- EREIGNISLISTE AUF AKTUELLE
LÄNGE KÜRZEN
EREIGNISLISTE AUF AKTUELLE
LÄNGE BRINGEN
2100
-21- AUFTRAG AUS AUFTRAGSLISTE
STREICHEN
AUFTRAGSNUMMER AUS AUF-
TRAGSLISTE STREICHEN
AUFTRAGSDATEN
JOBREC IN STA-
TISTIKFILE
SCHREIBEN
MAS7
150
2200
-22- STATISTIKEN ERSTELLEN
SUBROUTINE JSTAT -
LISTE DER ERLEDIGTEN AUF-
TRÄGE
SUBROUTINE JSTAT2 -
STARTZEITEN DER AUFTRÄGE
AUF DEN BEARBEITUNGSSTA-
TIONEN AUSDRUCKEN
SUBROUTINE JSTAT3 -
LISTE DER UNERLEDIGTEN
AUFTRÄGE IM MODELL
SUBROUTINE MGSTAT -
MASCHINENSTATISTIK AUS-
DRUCKEN
STOP

7.3.3. Der Block SSTART - Initialisierung und Belegung des Systems zur Startzeit

Der Block SSTART wird vom Systemsteuerprogramm SIM3 aufgerufen und hat folgende Aufgaben:

- Definition der Recordlängen
- Definition der Anzahl Records
- Endzeit der Simulation festetzen
- Druckoption bestimmen
- Wochentag und Länge der Arbeitszeit bestimmen
- Prioritätsregel auswählen
- Bestimmen, ob Neustart oder nicht
- Uhrzeit, Ereignisliste und Auftragsnummernliste initialisieren
- Initialisieren der Maschinenrecords
- Startzeiten der Maschinengruppen in die Ereignisliste eintragen
- Zur Zeit T = O Maschinen mit Aufträgen aus Warteschlange belegen

Die Variante BSTART ist für die Entgegennahme von Parametern (Wochenarbeitstag, max. Arbeitszeit, Endzeit der Simulation, Auswahl der Prioritätsregel und Druckoption) aus dem File SBATCH programmiert. Das Programm BSTART stellt diese Parameter von mehreren Arbeitstagen für einen Batch-Lauf des Simulators SIMTEX zur Verfügung.In bezug auf die anderen Funktionen sind SSTART und BSTART identisch.

7.3.4. Der Block BELFAC - Belegen einer Maschine mit einem Auftrag

Der Block BELFAC hat die Aufgabe, Aufträge in die Warteschlange der Maschinengruppe zu bringen. Aus dieser werden sie mit dem Block BUFFER für die einzelne Maschine ausgewählt. Der Block BELFAC übernimmt es dann, die Aufträge, die sich im Maschinenpuffer befinden, mit Hilfe der Blöcke der Prioritätsregeln anzuordnen. Weiters belegt er die Maschine mit dem ersten Auftrag aus dem Maschinenpuffer und verzögert die Zeit solange der Auf-

trag auf der Maschine bearbeitet wird. Der Block BELFAC stellt auch diverse Fehlerkonditionen fest. Dazu gehört, dass ein Auftrag nicht bearbeitet werden kann, wenn:

- in der Warteschlange kein Platz vorhanden ist
- die Fertigstellungszeit die Maschinenendzeit überschreitet
- die Ereignisliste voll ist
- der Auftrag gar nicht auf dieser Maschinengruppe bearbeitet werden soll
- alle Maschinen in der Maschinengruppe belegt sind.

7.3.5. Der Block BUFFER - Auswahl der Aufträge für eine Maschine

Der Block BUFFER wählt Aufträge, die sich in der Warteschlange vor einer Maschinengruppe befinden, aus und bringt sie in den Puffer einer Maschine dieser Gruppe. Dabei sind Restriktionen zu beachten:

- Maximales Fassungsvermögen der Maschine
- Maximale Arbeitsbreite der Maschine
- Maschinenstartzeit erreicht?
- Maschinenendzeit bei Verarbeitung des Auftrages überschritten?
- Auftrag zu gross für Bearbeitung auf dieser Maschinengruppe?

Zu unterscheiden ist, ob ein Warensammelprozess vor einer Maschinengruppe stattfindet oder nicht. Bei einem Warensammelprozess dürfen nur Aufträge miteinander verarbeitet werden, die auf dieser Maschinengruppe dieselbe Prozesszeit besitzen. Deshalb müssen die verschiedenen Prozesszeiten von Aufträgen bei Durchsuchen der Warteschlange festgehalten werden und je nach deren Anzahl mehrere Warensammelprozesse stattfinden. Als Strategie für die Frage, welcher Warensammelprozess zuerst verarbeitet werden soll, wird die Prozesszeit, von der am meisten Materialgewicht vorhanden ist, angenommen.

Sind Aufträge vorhanden, deren Prozesszeit die zur Verfügung stehende Arbeitszeit einer Maschine während einer Periode (Tag) überschreitet, so wird der Auftrag auf dieser Maschine in mehreren Teilen bearbeitet.

7.3.6. Der Block FINFAC - Fertigstellung eines Auftrages auf einer Maschine

Der Block FINFAC übernimmt die Behandlung des Ereignisses "Fertigstellung eines Auftrages auf einer Maschine". Nach Eintritt dieses Ereignisses wird sofort versucht, die betreffende Maschine durch Aufruf des Blocks BELFAC wieder mit einem Auftrag zu belegen.

7.3.7. Der Block STRFAC - Startversuch einer Maschine zur vorgegebenen Zeit

Der Block STRFAC behandelt das Ereignis eines Startversuchs einer Maschine in einer Gruppe zur vorgegebenen Zeit. Die in den Maschinendaten eingetragene Startzeit wird zu Beginn des Simulationslaufs im Block SSTART in die Ereignisliste eingetragen. Erreicht die Modellzeit die Startzeit der Maschinengruppe, so wird die vor der betreffenden Gruppe befindliche Warteschlange nach einem Auftrag durchsucht, mit dem eine Maschine der Gruppe die Arbeit beginnen soll. Ist ein Auftrag gefunden, so wird der Block BELFAC aufgerufen, der die eigentliche Belegung der Maschine durchführt.

7.3.8. Der Block BELSTO - Belegen eines Speichers mit einem Auftrag

Der Block BELSTO führt das Belegen eines Speichers mit einem Auftrag durch. Es gibt im Gegensatz zum Block BELFAC keine Unterscheidung zwischen dem Vorhandensein eines Warensammelprozesses oder dessen Nichtvorhandensein, da bis zu 100 Aufträge gleichzeitig den Speicher belegen können. Dies kann immer dann geschehen, wenn die Warteschlange vor dem Speicher geleert ist; der Speicher ist nicht über eine bestimmte Prozesszeit für ankommende Aufträge blockiert.

Der Block BELSTO stellt ebenso wie andere Blöcke verschiedene Fehlerkonditionen fest: Ein Auftrag kann nicht bearbeitet werden, wenn:

- nicht die richtige Maschinengruppe vorhanden ist
- die Warteschlange vor der Maschinengruppe voll ist
- die Modellzeit die Maschinenstartzeit noch nicht erreicht hat
- die Verarbeitungszeit die Arbeitszeit des Speichers überschreitet
- die Auftragsmenge für den Start des Speichers nicht ausreicht
- kein Platz im Speicher vorhanden ist
- kein Platz in der Ereignisliste vorhanden ist.

7.3.9. Der Block FINSTO - Freigabe eines Auftrages aus einem Speicher

Der Block FINSTO wird aufgerufen, wenn die in der Ereignisliste eingetragene Fertigstellungszeit eines Auftrages auf einem Speicher mit der Uhrzeit des Simulationslaufs übereinstimmt.

Verlässt ein Auftrag den Speicher, so wird geprüft, ob die Warteschlange vor dem Speicher leer ist. Ist dies der Fall, so wird der Block BELSTO aufgerufen, der die Warteschlange wieder neu zu füllen und den Speicher wieder zu belegen versucht.

7.3.10. Der Block STRSTO - Startversuch eines Speichers zur vorgegebenen Zeit

Der Block STRSTO behandelt das Ereignis eines Startversuchs eines Speichers zur vorgegebenen Zeit.

Die in den Maschinendaten eingetragene Startzeit wird zu Beginn des Simulationslaufs im Block SSTART in die Ereignisliste eingetragen. Erreicht die Modellzeit die Startzeit des Speichers, so wird die vor dem Speicher befindliche Warteschlange

nach einem Auftrag durchsucht, mit dem der Speicher gestartet werden soll. Ist ein Auftrag gefunden, so wird der Block BELSTO aufgerufen, der die Belegung des Speichers durchführt.

7.3.11. Der Block BELVER - Belegen einer Verweilstation mit einem Auftrag

Der Block BELVER übernimmt das Belegen einer Verweilstation mit einem Auftrag. Zu beachten ist, dass für jeden Auftrag eine freie Verweilstation vorhanden sein muss, da sonst die Aufträge wegen des Fehlens einer Warteschlange verloren gehen. Die Verarbeitungszeit einer Verweilstation kann über die normale Arbeitszeit hinausgehen, da nach Inbetriebnahme keine Bedienung erforderlich ist.

7.3.12. Der Block FINVER - Freigabe eines Auftrages aus einer Verweilstation

Zur Freigabe eines Auftrages aus einer Verweilstation wird der Block FINVER aufgerufen.

Das Wiederbelegen einer Verweilstation nach Fertigstellung eines Auftrages wird in diesem Block nicht durchgeführt, da von der Funktion einer Verweilstation her angenommen wird, die Verarbeitungszeit dauere normalerweise so lange, dass eine Wiederbelegung am selben Arbeitstag nicht in Frage kommt. Diese Annahme legt die Verwendung der Verweilstation in einer Foulard-Färberei zugrunde. Für andere Bedürfnisse ist der Block FINVER zu ändern.

7.3.13. Der Block MFFIND - Auffinden der nächsten Maschinengruppe

Der Block MFFIND soll die nächste Maschinengruppe für die Bearbeitung eines Auftrages finden. Maximal 25 Maschinengruppen finden im Feld JOBMFG Platz. Ist ein Auftrag auf einer Gruppe bearbeitet worden, wird die Maschinengruppen-

nummer gelöscht. Wird beim Durchsuchen des Feldes JOBMFG eine Maschinengruppe für die Bearbeitung gefunden, so wird sie und die dazugehörige Verarbeitungszeit (Feld JOBMDZ) in die Variablen JOBZST und JOBZV umgespeichert. Hat ein Auftrag alle Bearbeitungsstellen durchlaufen, so wird JOBZST gleich 201 gesetzt, als Zeichen, dass der Auftrag beendet ist.

7.3.14. Der Block JSTAT - Erstellen einer Auftragsstatistik der fertiggestellten Aufträge

Der Block JSTAT hat die Aufgabe, die fertiggestellten Aufträge statistisch auszuwerten. Dazu wird das während des Simulationslaufs erstellte Statistik-File durchsucht und für jeden einzelnen Auftrag werden folgende Daten aufbereitet:

- laufende Nummer
- modellinterne Nummer
- Auftragsnummer
- Artikelnummer
- Modelleintrittszeit
- Modellabtrittszeit
- gesamte errechnete Maschinenbelegungszeit
- gesamte errechnete Wartezeit
- gesamte errechnete Durchlaufzeit in Minuten
- gesamte errechnete Durchlaufzeit in Tagen
- Soll-Durchlaufzeit in Tagen
- Abweichung zwischen errechneter Durchlaufzeit und Sollzeit
- Ist-Durchlaufzeit in Tagen (zur Modellvalidierung)
- Abweichung zwischen errechneter Durchlaufzeit und Istzeit

Anschliessend werden noch statistische Globalwerte errechnet:

- Auftrag mit der kürzesten Durchlaufzeit
- Auftrag mit der längsten Durchlaufzeit
- mittlere Wartezeit aller Aufträge
- Standardabweichung der Wartezeit
- mittlere errechnete Durchlaufzeit in Tagen
- Standardabweichung der mittleren errechneten Durchlaufzeit in Tagen
- mittlere Soll-Durchlaufzeit in Tagen
- Standardabweichung der mittleren Soll-Durchlaufzeit in Tagen
- mittlere Ist-Durchlaufzeit in Tagen
- Standardabweichung der mittleren Ist-Durchlaufzeit in Tagen

Output-Beispiel des Programms JSTAT

AUFTRAGSSTATISTIK PRIORITAETSREGEL: FCFS SEITE: 3

NR	LJNR	JOBNR	ART. NR.	JOBEZ	JOBAZ	MGESZ	JOBWZ	JOBGZ	JOBGZT	JOBSZ	ABWSZ	JOBFG	ABWFG
81	545	912130	681	0	225	49	1616	1665	3	2	1	2	1
82	236	906138	13	0	225	2275	5150	7425	7	5	2	7	0
83	125	913059	500	0	238	7	231	238	2	2	0	2	0
84	49	912007	683	0	243	47	1636	1683	3	2	1	6	-3
85	230	906132	13	0	254	2336	5118	7454	7	5	2	7	0
86	395	913160	500	0	259	5	254	259	2	2	0	2	0
87	55	912008	683	0	262	47	1655	1702	3	2	1	3	0
88	258	912054	204	0	263	413	1290	1703	3	4	-1	4	-1
89	74	912015	200	0	263	669	1034	1703	3	2	1	4	-1
90	71	909017	212	0	266	673	2473	3146	4	4	0	4	0
91	394	913159	500	0	266	32	234	266	2	2	0	2	0
92	193	913083	200	0	267	15	252	267	2	2	0	2	0
93	194	913084	700	0	267	258	9	267	2	2	0	2	0
94	56	912009	683	0	281	47	1674	1721	3	2	1	2	1
95	168	913075	500	0	291	68	223	291	2	2	0	3	-1
96	57	912010	683	0	291	27	1704	1731	3	2	1	2	1
97	43	913024	200	0	294	15	279	294	2	2	0	2	0
98	34	913020	200	0	296	52	244	296	2	2	0	2	0
99	99	901099	288	0	303	4406	7417	11823	10	7	3	10	0
100	37	913022	700	0	306	33	273	306	2	2	0	2	0
101	384	913154	200	0	311	88	223	311	2	2	0	3	-1
102	402	913165	200	0	322	91	231	322	2	2	0	3	-1
103	571	912145	683	0	327	80	1687	1767	3	2	1	2	1
104	42	913023	200	0	336	15	321	336	2	2	0	2	0
105	509	907130	216	0	337	884	5213	6097	6	5	1	4	2
106	323	912059	210	0	347	603	1184	1787	3	4	-1	3	0
107	325	912060	210	0	348	603	1185	1788	3	4	-1	3	0
108	251	912052	210	0	348	610	1178	1788	3	4	-1	3	0
109	290	912057	210	0	348	607	1181	1788	3	4	-1	4	-1
110	344	912066	210	0	350	605	1185	1790	3	4	-1	3	0
111	558	912137	681	0	351	54	1737	1791	3	2	1	2	1
112	352	909102	220	0	356	1257	1979	3236	4	5	-1	9	-5
113	510	907131	216	0	371	884	5247	6131	6	5	1	3	3
114	393	913158	700	0	374	164	210	374	2	2	0	2	0
115	324	913130	893	0	377	320	57	377	2	3	-1	3	-1
116	375	912078	210	0	378	603	1215	1818	3	4	-1	3	0
117	464	912103	210	0	387	619	1208	1827	3	4	-1	3	0
118	463	912102	210	0	393	625	1208	1833	3	4	-1	3	0
119	366	912070	210	0	403	603	1240	1843	3	4	-1	3	0
120	430	912092	210	0	406	661	1185	1846	3	4	-1	3	0

7.3.15. Der Block JSTAT2 - Verfolgen der Startzeiten der Aufträge auf den Maschinen, Speichern und Verweilstationen

Der Block JSTAT2 wurde geschaffen, um die Arbeit des Modellbetriebes besser verfolgen zu können. Dazu werden die während des Simulationslaufs festgehaltenen Startzeiten auf den Maschinen gemeinsam mit den dazugehörigen Maschinengruppennummern ausgedruckt.

STARTZEITEN DER JOBS AUF DEN MASCHINENGRUPPEN PRIORITAETSREGEL: FCFS SEITE: 2

NR	LJNR	JOBNR	ARTNO	MASCHINENFOLGE UND STARTZEIT														
21	159	901160	210	1	2	3	11	12	13	14	13	14	15	16	17	32	33	44	47
				252	255	268	600	911	913	1021	1434	1659	1661	1839	1843	2884	2886	2892	2902
22	200	902071	700	1	2	33	44	47											
				47	94	391	1440	1469											
23	65	901065	212	1	2	3	5	11	12	13	14	13	14	15	16	17	32	33	44	47
				53	60	87	92	600	875	879	980	1440	1608	1612	1826	1830	2880	2882	2892	2913
24	273	902141	890	2	33	46	47													
				115	346	1436	1468													
25	145	901146	210	1	2	3	11	12	13	14	13	14	15	16	17	32	33	44	47	
				79	85	107	600	880	883	985	1434	1607	1610	1825	1829	2877	2880	2891	2909	
26	14	901014	683	1	36	45	47													
				183	1541	2880	2914													
27	50	901050	212	1	2	3	5	11	12	13	14	13	14	15	16	17	32	33	44	47
				486	488	498	511	600	1050	1440	1698	1699	1820	1821	1997	2002	2897	2906	2913	2921
28	38	901038	212	1	2	3	5	11	12	13	14	13	14	15	16	17	32	33	44	47
				482	483	484	496	600	1043	1440	1691	1692	1813	1814	1990	1991	2896	2910	2921	2922
29	274	902142	890	2	33	46	47													
				123	378	1468	1481													
30	78	901078	212	1	2	3	5	11	12	13	14	13	14	15	16	17	32	33	44	47
				95	102	129	132	600	890	894	995	1440	1620	1624	1838	1842	2886	2891	2903	2924
31	140	905106	200	1	2	33	44	47												
				18	21	34	39	49												
32	24	901024	212	1	2	3	5	11	12	13	14	13	14	15	16	17	32	33	44	47
				286	293	319	322	600	1015	1440	1658	1662	1785	1789	1962	1968	2891	2896	2908	2929
33	158	901159	210	1	2	3	11	12	13	14	13	14	15	16	17	32	33	44	47	
				251	252	255	600	908	909	1018	1434	1656	1657	1836	1840	2882	2924	2925	2927	
34	28	901028	212	1	2	3	5	11	12	13	14	13	14	15	16	17	32	33	44	47
				337	346	380	383	600	1025	1440	1673	1678	1795	1800	1972	1979	2893	2897	2910	2937
35	8	905002	700	1	2	33	44	47												
				0	6	30	42	60												
36	285	905074	200	1	2	33	44	47												
				61	62	64	65	66												
37	286	905075	200	1	2	33	44	47												
				62	63	65	66	67												
38	157	901158	210	1	2	3	11	12	13	14	13	14	15	16	17	32	33	44	47	
				248	251	263	600	909	911	1019	1434	1657	1659	1837	1841	2883	2925	2930	2940	
39	167	901168	683	1	36	45	47													
				384	1569	2908	2940													
40	293	905082	700	1	2	33	44	47												
				81	82	83	84	85												

7.3.16. Der Block JSTAT3 - Report über die unerledigten Aufträge, die sich noch im Modell befinden

Neben der statistischen Auswertung der fertiggestellten Aufträge ist eine Statistik der noch im Bearbeitungsstadium befindlichen Aufträge notwendig. Dazu wird festgehalten, vor welcher Maschinengruppe die Aufträge am Ende des Simulationslaufs warten.

UNERLEDIGTE JOBS IM MODELL: PRIORITAETSREGEL: FCFS SEITE: 6

201	JOBNR	907091	INT.	JOBNR	278	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	23
202	JOBNR	907092	INT.	JOBNR	279	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	8
203	JOBNR	906155	INT.	JOBNR	280	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	18
204	JOBNR	906156	INT.	JOBNR	281	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	18
205	JOBNR	906157	INT.	JOBNR	282	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	18
206	JOBNR	906158	INT.	JOBNR	283	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	18
207	JOBNR	908109	INT.	JOBNR	284	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	28
208	JOBNR	907093	INT.	JOBNR	286	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	8
209	JOBNR	908110	INT.	JOBNR	287	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	23
210	JOBNR	908111	INT.	JOBNR	288	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	44
211	JOBNR	907093	INT.	JOBNR	289	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	8
212	JOBNR	907094	INT.	JOBNR	290	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	44
213	JOBNR	908111	INT.	JOBNR	291	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	44
214	JOBNR	906161	INT.	JOBNR	292	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	23
215	JOBNR	908112	INT.	JOBNR	293	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	8
216	JOBNR	908113	INT.	JOBNR	295	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	8
217	JOBNR	908116	INT.	JOBNR	298	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	13
218	JOBNR	906164	INT.	JOBNR	299	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	32
219	JOBNR	906165	INT.	JOBNR	300	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	23
220	JOBNR	906166	INT.	JOBNR	301	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	15
221	JOBNR	906167	INT.	JOBNR	302	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	23
222	JOBNR	906168	INT.	JOBNR	303	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	23
223	JOBNR	908117	INT.	JOBNR	304	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	12
224	JOBNR	906169	INT.	JOBNR	305	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	14
225	JOBNR	907095	INT.	JOBNR	308	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	22
226	JOBNR	907095	INT.	JOBNR	309	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	23
227	JOBNR	908119	INT.	JOBNR	310	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	22
228	JOBNR	908120	INT.	JOBNR	311	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	6
229	JOBNR	908121	INT.	JOBNR	312	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	6
230	JOBNR	908122	INT.	JOBNR	313	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	6
231	JOBNR	908124	INT.	JOBNR	315	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	23
232	JOBNR	908125	INT.	JOBNR	316	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	6
233	JOBNR	908126	INT.	JOBNR	317	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	7
234	JOBNR	908127	INT.	JOBNR	318	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	7
235	JOBNR	908128	INT.	JOBNR	319	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	7
236	JOBNR	908129	INT.	JOBNR	321	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	6
237	JOBNR	908133	INT.	JOBNR	322	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	6
238	JOBNR	907096	INT.	JOBNR	324	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	22
239	JOBNR	906173	INT.	JOBNR	325	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	33
240	JOBNR	907096	INT.	JOBNR	326	WARTET	VOR	MASCH. GRUPPE	23

7.3.17. Der Block MGSTAT - Erstellen einer Maschinenstatistik

Aufgabe des Blocks MGSTAT ist das Erstellen einer Maschinenstatistik für Maschinen, Speicher und Verweilstationen.
Zu den ausgewerteten Daten gehören:

- Anzahl Aufträge in der Warteschlange
- Anzahl verarbeitete Aufträge
- Maschinengruppen- und Maschinennummer
- Maschinenleerzeit
- Maschinenlaufzeit
- Maschinengesamtzeit
- Maschinengruppenstartzeit
- Maschinengruppenschlusszeit
- Maschinengruppen- und Maschinenauslastungsgrad
- Betriebsauslastungsgrad der beschäftigten Maschinengruppen

Es wird nur der Betriebsauslastungsgrad der beschäftigten Maschinengruppen berechnet, da jeder auftragsorientierte Textillohnveredlungsbetrieb Maschinen besitzt, die nur saisonsweise zum Einsatz gelangen und deshalb nicht zu den gegenwärtig eingesetzten Potentialfaktoren zu rechnen sind.

MASCHINENGRUPPE 42: 2 KONTROLLMASCHINEN — IN QUEUE SIND NOCH 6 JOBS

NR	MALEZ	MALGZ	MAGSZ	AUSLASTGRD	MGRAUSLST	MGRSTRT	MGREND
1	27	543	570	95.26			
2	346	224	570	39.30	67.28	0	570

VERARBEITETE JOBS: 26

MASCHINENGRUPPE 43: 1 HANDLEGE — IN QUEUE SIND NOCH 1 JOBS

NR	MALEZ	MALGZ	MAGSZ	AUSLASTGRD	MGRAUSLST	MGRSTRT	MGREND
1	83	487	570	85.44	85.44	0	569

VERARBEITETE JOBS: 25

MASCHINENGRUPPE 44: 7 STAB- DOUBLIERMASCHINEN — IN QUEUE SIND NOCH 26 JOBS

NR	MALEZ	MALGZ	MAGSZ	AUSLASTGRD	MGRAUSLST	MGRSTRT	MGREND
1	114	456	570	80.00			
2	192	378	570	66.32			
3	308	262	570	45.96			
4	246	324	570	56.84			
5	415	155	570	27.19			
6	320	250	570	43.86			
7	407	163	570	28.60	49.82	0	556

VERARBEITETE JOBS: 97

MASCHINENGRUPPE 45: 1 STAB- DOUBLIERMASCHINE 3M — IN QUEUE SIND NOCH 11 JOBS

NR	MALEZ	MALGZ	MAGSZ	AUSLASTGRD	MGRAUSLST	MGRSTRT	MGREND
1	4	566	570	99.30	99.30	0	566

VERARBEITETE JOBS: 10

MASCHINENGRUPPE 46: 3 ROLL- WICKELMASCHINEN — IN QUEUE SIND NOCH 3 JOBS

NR	MALEZ	MALGZ	MAGSZ	AUSLASTGRD	MGRAUSLST	MGRSTRT	MGREND
1	207	363	570	63.68			
2	168	402	570	70.53			
3	287	283	570	49.65	61.29	34	520

VERARBEITETE JOBS: 22

MASCHINENGRUPPE 47: 4 LEGE- PACKTISCHE — IN QUEUE SIND NOCH 3 JOBS

NR	MALEZ	MALGZ	MAGSZ	AUSLASTGRD	MGRAUSLST	MGRSTRT	MGREND
1	217	353	570	61.93			
2	298	272	570	47.72			
3	420	150	570	26.32			
4	384	186	570	32.63	42.15	0	570

VERARBEITETE JOBS: 157

7.3.18. Die Blöcke der Prioritätsregeln

Die Programme der Prioritätsregeln besitzen denselben Aufbau, der für alle Regeln im Anhang dargestellt ist. Derjenige Programmteil, der das Sortierkriterium bestimmt, ist jeweils einzeln bei jeder Regel aufgeführt.

7.3.19. Das Hilfsprogramm JSORT

Das Programm JSORT sortiert das Feld JRECNR, in dem sich die Auftragsnummern befinden, nach den Kriterien, die im Feld JSKRIT enthalten sind. Es kann aufsteigend oder absteigend sortiert werden, je nachdem, ob der Parameter JS gleich 1 (aufsteigend) oder 2 (absteigend) ist. Das Sortierverfahren beruht auf einem einfachen Wertevergleich mit Austausch. Ein komplizierteres Sortierverfahren wurde nicht gewählt, da die zu sortierenden Werte von relativ geringer Zahl (<160) sind und deshalb mit einem aufwendigeren Sortierverfahren keine nennenswerte Beschleunigung erreicht werden kann, ein solches aber mehr Speicherplatz benötigt.

7.3.20. Das Programm INFILE

Das Programm INFILE hat die Aufgabe, aus den noch unerledigten Aufträgen der Vortage und von heute ein Input-File der heute zu behandelnden Aufträge (MAS8) zu erstellen. Dieses Input-File wird in das Systemsteuerprogramm SIM3 eingelesen und von diesem in das File JOBREC (MAS1) umgespeichert. Das File JOBREC (MAS1) wird dann abgearbeitet. Am Ende des Simulationslaufs befinden sich die fertiggestellten Aufträge im File STATRC (MAS7), während die Aufträge, deren Bearbeitung überhaupt noch nicht begonnen wurde, in das File JSCRAT (MAS6) geschrieben werden. Die nur teilweise bearbeiteten Aufträge verbleiben bis zu ihrer Fertigstellung im File JOBREC (MAS1), wobei die Auftragsnummer dieser Aufträge im File JOBK1 (MAS5) zur Wiederauffindung der Aufträge für den nächsten Bearbeitungstag verbleiben.

Beispiel eines Simulationslaufs mit Druckoption

```
T=    43  JOB NR.  907202 VERLAESST WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE   1
T=    43  JOB NR.  907202 BETRITT MASCHINE NR.   4 IN MASCHINENGRUPPE   1 UND WIRD BEARBEITET BIS    59
T=    43  JOB NR.  907201 VERLAESST MASCHINE NR.   4 IN MASCHINENGRUPPE   1
T=    43  JOB NR.  907201 BETRITT WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE   2 AN   1. STELLE
T=    43  JOB NR.  907201 BETRITT BUFFER VON MASCHINE NR  7 IN MGR  2 AN   1. STELLE
T=    43  JOB NR.  907201 VERLAESST WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE   2
T=    43  JOB NR.  907201 BETRITT MASCHINE NR.   7 IN MASCHINENGRUPPE   2 UND WIRD BEARBEITET BIS    55
T=    44  JOB NR.  907137 VERLAESST MASCHINE NR.   1 IN MASCHINENGRUPPE   2
T=    44  JOB NR.  907137 BETRITT WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE   3 AN   2. STELLE
T=    44  JOB NR.  907137 BETRITT BUFFER VON MASCHINE NR  1 IN MGR  3 AN   1. STELLE
T=    44  JOB NR.  907137 VERLAESST WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE   3
T=    44  JOB NR.  907137 BETRITT MASCHINE NR.   1 IN MASCHINENGRUPPE   3 UND WIRD BEARBEITET BIS    66
T=    45  JOB NR.  908003 VERLAESST WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE   1
T=    45  JOB NR.  908003 BETRITT MASCHINE NR.   2 IN MASCHINENGRUPPE   1 UND WIRD BEARBEITET BIS    55
T=    45  JOB NR.  908002 VERLAESST MASCHINE NR.   2 IN MASCHINENGRUPPE   1
T=    45  JOB NR.  908002 BETRITT WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE  36 AN   2. STELLE
T=    45  ALLE MASCHINEN BELEGT IN MASCH. GR.  36
T=    45  JOB NR.  908027 BETRITT BUFFER VON MASCHINE NR  2 IN MGR 33 AN   1. STELLE
T=    45  JOB NR.  908146 BETRITT BUFFER VON MASCHINE NR  2 IN MGR 33 AN   2. STELLE
T=    45  JOB NR.  902037 BETRITT BUFFER VON MASCHINE NR  2 IN MGR 33 AN   3. STELLE
T=    45  JOB NR.  906220 BETRITT BUFFER VON MASCHINE NR  2 IN MGR 33 AN   4. STELLE
T=    45  JOB NR.  908027 VERLAESST WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE  33
T=    45  JOB NR.  908027 BETRITT MASCHINE NR.   2 IN MASCHINENGRUPPE  33 UND WIRD BEARBEITET BIS   165
T=    45  JOB NR.  908147 VERLAESST MASCHINE NR.   2 IN MASCHINENGRUPPE  33
T=    45  JOB NR.  908147 BETRITT WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE  46 AN   1. STELLE
T=    45  JOB NR.  908147 BETRITT BUFFER VON MASCHINE NR  1 IN MGR 46 AN   1. STELLE
T=    45  JOB NR.  908147 VERLAESST WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE  46
T=    45  JOB NR.  908147 BETRITT MASCHINE NR.   1 IN MASCHINENGRUPPE  46 UND WIRD BEARBEITET BIS    67
T=    45  JOB NR.  908150 VERLAESST WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE   2
T=    45  JOB NR.  908150 BETRITT MASCHINE NR.   6 IN MASCHINENGRUPPE   2 UND WIRD BEARBEITET BIS    58
T=    45  JOB NR.  908149 VERLAESST MASCHINE NR.   6 IN MASCHINENGRUPPE   2
T=    45  JOB NR.  908149 BETRITT WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE  48 AN   1. STELLE
T=    45  ALLE MASCHINEN BELEGT IN MASCH. GR.  48
T=    49  JOB NR.  906225 VERLAESST WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE  45
T=    49  JOB NR.  906225 BETRITT MASCHINE NR.   1 IN MASCHINENGRUPPE  45 UND WIRD BEARBEITET BIS    88
T=    49  JOB NR.  906163 VERLAESST MASCHINE NR.   1 IN MASCHINENGRUPPE  45
T=    49  JOB NR.  906163 BETRITT WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE  47 AN   1. STELLE
T=    49  JOB NR.  906163 BETRITT BUFFER VON MASCHINE NR  2 IN MGR 47 AN   1. STELLE
T=    49  JOB NR.  906163 VERLAESST WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE  47
T=    49  JOB NR.  906163 BETRITT MASCHINE NR.   2 IN MASCHINENGRUPPE  47 UND WIRD BEARBEITET BIS    52
T=    49  JOB NR.  907200 VERLAESST MASCHINE NR.   8 IN MASCHINENGRUPPE   2
T=    49  JOB NR.  907200 BETRITT WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE  39 AN   1. STELLE
T=    49  JOB NR.  907200 BETRITT BUFFER VON MASCHINE NR  1 IN MGR 39 AN   1. STELLE
T=    49  JOB NR.  907200 VERLAESST WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE  39
T=    49  JOB NR.  907200 BETRITT MASCHINE NR.   1 IN MASCHINENGRUPPE  39 UND WIRD BEARBEITET BIS    76
T=    50  JOB NR.  907183 BETRITT BUFFER VON MASCHINE NR  1 IN MGR 35 AN   1. STELLE
T=    50  JOB NR.  907183 VERLAESST WARTESCHLANGE VOR MASCHINENGRUPPE  35
T=    50  JOB NR.  907183 BETRITT MASCHINE NR.   1 IN MASCHINENGRUPPE  35 UND WIRD BEARBEITET BIS    88
```

7.3.21. Das Programm FACSET

Das Programm FACSET erstellt das Maschinendaten-File auf Massenspeicher mit zugehöriger Eingabeliste. Die Eingabe ist durch Lochkarten vorgesehen.

Folgende Variablen werden eingegeben:

- Maschinengruppennummer
- Maximale Maschinenanzahl pro Gruppe
- Maschinengruppenname
- Maschinenendzeit 1
- Maschinenendzeit 2 für verschiedene Wochentage
- Maschinenstartzeit
- Warensammelprozess
- Nummer der maschinengebundenen Prioritätsregel
- Prozesstyp (F, S, V)
- Minimale Maschinenauslastung für Start
- Art der Restriktion
- Restriktionen für jede Maschine der Gruppe

DEFINITION DES MASCHINENPARKS 3. 5. 1978 SEITE: 1

MGNR	ANZAHL	BEZEICHNUNG	JSPROZ	STARTZ	ENDZ1	ENDZ2	PRIORG	MOS	MPROZ	MAX. WARENBREITE IN CM ODER MAX. FASSUNGSVERM. IN KG					
1	5	STEMPELPLAETZE	0	0	-510	-720	0	F	0						
2	4	NAEHMASCHINEN	0	0	-510	-720	0	F	0						
3	6	SENGMASCHINEN	0	0	-510	-720	0	F	0	BR	230 280	230	250	250	280
4	1	ENTSCHLICHTUNGSKASTEN	0	0	360	360	0	S	0	KG	2000				
5	4	MERCERISIER- WASCHMASCHINE	0	0	0	0	0	F	0	BR	180	220	220	220	
6	2	BEUCHKESSEL	1	0	0	0	0	F	30	KG	400	400			
7	6	BLEICHEBOTTICHE	1	0	360	360	0	F	20	KG	500 500	500	500	500	500
8	4	SAEURE- WASCHMASCHINE	0	0	0	0	0	F	0						
9	4	BLEICHEHASPELKUFEN	1	0	0	0	0	F	30	KG	50	150	250	350	
10	1	SCHLEUDER	0	0	0	0	0	F	0	KG	120				
11	1	BRUEHSTIEFEL (SPEICHER)	0	600	120	120	0	S	30	KG	1800				
12	1	BRUEHSTIEFEL(KONT. MASCHINE)	0	0	0	0	0	F	0						
13	1	SAEURESTIEFEL (SPEICHER)	0	0	0	0	0	S	0	KG	1800				
14	1	SAEURESTIEFEL (KONT. MASCH.)	0	0	0	0	0	F	0						
15	1	CHLORSTIEFEL (SPEICHER)	0	0	0	0	0	S	0	KG	1800				
16	1	CHLORSTIEFEL (KONT. MASCH.)	0	0	0	0	0	F	0						
17	1	PEROXIDSTIEFEL (SPEICHER)	0	0	0	0	0	S	0	KG	1800				
18	1	PEROXIDSTIEFEL (KONT. MASCHINE	0	0	0	0	0	F	0						

Output-Beispiel des Programms FACSET

7.3.22. Das Programm WMLAUF

Das Programm WMLAUF hat die Aufgabe, ein Waren-Maschinen-Durchlauf-File auf Massenspeicher zu erstellen. Als Inputmedium sind Lochkarten vorgesehen. Auf Wunsch kann eine Liste der Inputdaten auf dem Zeilendrucker gedruckt werden.

Als Eingabedaten werden benötigt:

- Artikelnummer eines Durchlaufs
- Maschinenfolge des Artikels
- Laufgeschwindigkeiten des Artikels auf den Maschinen
- Artikelabhängige Soll-Fertigstellungszeit

WAREN - MASCHINEN - DURCHLAUFFILE 20. 11. 1977 SEITE: 37

KART	ARTNO	MASCHINENNUMMER, LAUFGESCHWINDIGKEIT UND SOLLFERTIGSTELLUNGSZEIT																			
MF1	762	1	2	3	4	8	17	5	8	17	35	44	47								
LG1	762	20	40	80	400	30	50	30	30	50	15	10	50								
SZT	762	4																			
MF1	763	1	2	4	8	17	35	44	47												
LG1	763	20	40	400	30	50	15	10	50												
SZT	763	3																			
MF1	764	1	2	4	8	17	5	8	17	35	44	47									
LG1	764	20	40	400	30	50	30	30	50	15	10	50									
SZT	764	4																			
MF1	765	1	2	3	18	18	35	25	26	5	33	42	44	47							
LG1	765	20	40	80	50	50	20	40	720	80	40	15	10	50							
SZT	765	5																			
MF1	766	1	2	3	5	18	18	35	25	26	5	33	42	44	47						
LG1	766	20	40	80	30	50	50	20	40	720	80	40	15	10	50						
SZT	766	5																			
MF1	767	1	2	18	18	35	27	33	42	3	5	33	42	44	47						
LG1	767	20	40	50	50	20	600	40	15	80	80	40	15	10	50						
SZT	767	7																			
MF1	768	1	2	5	18	18	35	27	33	42	3	5	33	42	44	47					
LG1	768	20	40	30	50	50	20	600	40	15	80	80	40	15	10	50					
SZT	768	7																			
MF1	771	1	2	3	11	12	13	14	15	16	17	35	13	14	15	16	17	33	33	44	47
LG1	771	20	40	80	50	240	50	100	50	150	50	15	50	100	50	150	50	40	40	10	50
SZT	771	4																			

7.3.23. Das Programm JOBSET

Das Programm JOBSET dient zur Aufbereitung der Kundenaufträge. Inputmedien sind entweder der Kartenleser oder ein Eingabeterminal. Die Ausgabe der aufbereiteten Daten erfolgt auf das Plattenspeicher-File JOBSET.

Die benötigten Inputdaten sind:

- Auftragsnummer
- Artikelnummer
- Menge des Auftrages
- Einheit der Menge (Kilogramm oder Coupon)
- Länge in Yards (nur bei Coupons)
- Warenbreite
- Warengewicht
- Helligkeit der Farbe (nur für Farbware)
- tatsächliche Fertigstellungszeit (nur für Modellvalidierung)

Diese Inputdaten sind in Abschnitt 6.2.2. näher beschrieben. Zur Aufbereitung der Daten übernimmt das Programm folgende Aufgaben:

- Plausibilitätstests
- Umrechnung der Auftragseinheiten in Meter
- Bestimmung der Durchlaufzeit für kontinuierliche und diskontinuierliche Maschinen
- Teilen von Aufträge, wenn sie grösser sind als eine Maschine an einem Arbeitstag verarbeiten kann.

Als Beispiel ist im Programm ein Sonderteil aufgeführt, der zwei mögliche Situationen in einer Färberei löst:

- Aufteilen von Aufträgen, je nach Auftragsgrösse auf Färbehaspelkufen, wenn mehr gleichartige Maschinen vorhanden sind als für eine Gruppe vorgesehen ($\geq$15). Im angeführten Fall

werden 3 Gewichtsklassen von gleichartigen Färbehaspelkufen unterschieden.

- Individuelles Festsetzen der Färbezeit auf Jigger oder Haspelkufen, je nach Helligkeit der Färbung.

LNR	AUFTRAGSNR	ARTIKELNR	WARENMENGE	EINHEIT	WARENBREITE	GEWICHT	PRIOR	FARBE	GES. MASCHZT
41	915038	228	30	C 10	132	75	0	H	1769
	1 2 3 4 8 17 33 5 8 7 8 7 8 17 20 23 28 33 42 34 44 47								
	9 34 3 400 9 5 13 9 9 420 9 420 9 5 240 40 54 13 18 18 27 5								
42	915039	210	48	C 10	132	82	0		781
	1 2 3 11 12 13 14 13 14 15 16 17 32 33 44 47								
	14 54 6 240 8 100 8 100 8 150 8 8 5 21 43 8								
43	915040	225	38	C 10	130	144	0	H	1766
	1 2 3 4 8 7 8 7 8 17 20 23 28 33 42 44 47								
	11 43 4 400 11 420 11 420 11 6 240 40 69 17 23 34 6								
44	915041	226	48	C 10	130	91	0	H	1889
	1 2 3 4 8 17 33 5 8 7 8 7 8 17 20 23 28 33 42 44 47								
	14 54 6 400 14 8 21 14 14 420 14 420 14 8 240 40 87 21 29 43 8								
45	915042	210	110	C 10	130	151	0		1044
	1 2 3 11 12 13 14 13 14 15 16 17 32 33 44 47								
	33 125 14 240 20 100 20 100 20 150 20 20 12 50 100 20								
46	915043	200	30	C 10	132	82	0		88
	1 2 33 44 47								
	9 34 13 27 5								
47	915044	210	8	C 10	143	9	0		619
	1 2 3 11 12 13 14 13 14 15 16 17 32 33 44 47								
	2 9 1 240 1 100 1 100 1 150 1 1 1 3 7 1								
48	915045	210	30	C 10	130	56	0		709
	1 2 3 11 12 13 14 13 14 15 16 17 32 33 44 47								
	9 34 3 240 5 100 5 100 5 150 5 5 3 13 27 5								
49	915046	210	14	C 10	132	28	0		641
	1 2 3 11 12 13 14 13 14 15 16 17 32 33 44 47								
	4 15 1 240 2 100 2 100 2 150 2 2 1 6 12 2								
50	915047	220	3	C 10	132	5	0		1255
	1 2 3 4 8 7 8 7 8 17 33 32 33 44 47								
	1 3 1 400 1 420 1 420 1 1 1 1 1 2 1								

Output-Beispiel des Programms JOBSET

7.4. Restriktionen und Beschleunigungsmassnahmen des Programmpaketes SIMTEX auf dem Minicomputer

Ausgehend von der zur Verfügung stehenden Zentralspeichergrösse eines Minicomputers ergeben sich Einschränkungen für ein Programmpaket von der Grösse des Modells SIMTEX.
Diese sind:

- Auslagerung der Auftrags-, Maschinen- und Waren-Maschinen-Durchlaufdaten auf Massenspeicher
- Beschränkung der gewählten Parameter und Feldgrössen (Siehe Abschnitt 6.1.7.)

Die Auslagerung der Daten-Files vom Zentralspeicher auf Massenspeicher ist einerseits wegen des grossen Platzbedarfs notwendig, reduziert aber andererseits wegen der grossen Anzahl von Zugriffen (mehrere tausend Male während eines Simulationslaufs) stark die Ausführungsgeschwindigkeit des Modells.

Deshalb erschien es angezeigt, die Abläufe im Zentralspeicher in bezug auf die Ausführungsgeschwindigkeit möglichst zu optimieren. Zu diesen Beschleunigungsmassnahmen zählen:

- Ereignisliste wird dynamisch auf die jeweils erforderliche Grösse gebracht. Dies reduziert die Suchzeit.

- Alle doppelten Feld-Indices sind vermieden, da eindimensionale Felder schneller durchsucht werden.

- Ereignisse, die zur gleichen Zeit stattfinden, werden in ein Hilfsfeld eingetragen. Dies reduziert die Anzahl von Suchoperationen in der Ereignisliste.

- Bei Fertigstellungsereignissen belegt ein neuer Auftrag die Maschine, bevor sie der fertiggestellte verlässt. Diese "logische Inkorrektheit" erspart pro Fertigstellungsereignis 2 Plattenspeicherzugriffe.

B. Praktische Anwendung

8. Praktische Anwendung des Modells in einem Textillohnveredlungsbetrieb und Resultate der Simulation

Das Modell SIMTEX wurde in einem Textillohnveredlungsbetrieb ausführlich getestet. Das genannte Unternehmen ist Veredler von leichten bis mittelschweren Geweben, Gewirken und Stickereien aus Baumwolle, Mischgeweben, Kunst- und Chemiefasern. Alle im folgenden verwendeten Zeit- und Mengenparameter sind aktuelle Daten aus der Testphase des Modells SIMTEX in diesem Betrieb.

Kennzahlen zur Grösse des simulierten Betriebes sind:

- 140 Maschinen in 57 Maschinengruppen
- bis 1500 Aufträge gleichzeitig im System
- ca. 500 verschiedene Artikel (=Veredlungsarten)

Diese sowie weitere Angaben wie Auftragsgrössen, Anzahl Bearbeitungen pro Auftrag, Bearbeitungszeiten und andere mehr standen für diese Untersuchung zwar zur Verfügung, besassen aber leider nicht immer die gewünschte Genauigkeit. Besonders möchte ich hier die Schwierigkeit der Messung der Arbeitsgeschwindigkeit an Bearbeitungsstationen hervorheben, an denen die Arbeitsgeschwindigkeit durch manuelle Verrichtungen bestimmt wird. Je nach Arbeitsleistung der jeweiligen Arbeitskraft kann die Bearbeitungszeit stark schwanken. Dies ist ebenso bei maschinellen Bearbeitungen, wenn wegen unterschiedlicher Qualität der zu behandelnden Ware andere als die normalerweise angewandten Geschwindigkeiten gewählt werden müssen. So beruhen alle Werte von Bearbeitungsgeschwindigkeiten auf Mittelwerten. Im Zusammenhang damit ist noch der enorme zeitliche Aufwand zu erwähnen, der notwendig ist, um die zur Verfügung gestellten Daten zu analysieren, damit ein möglichst praxisnahes Simulationsmodell erstellt werden kann. Auch bedarf es langwieriger Versuche bis es gelingt, das System im Gleichgewicht zu halten und ein Überlaufen von Warteschlangen oder eine zu grosse Beschleunigung oder Verlangsamung der simulierten Zeitparameter gegenüber der Wirklichkeit zu vermeiden.

8.1. Versuchsplanung

Unter einem Versuch oder Experiment ist bei deterministischen Modellen ein Simulationslauf zu verstehen, der sich mit einem Satz fester Modellparameter über eine bestimmte simulierte Zeitdauer erstreckt. Die Planung der Versuche umfasst die Teilaspekte (72):

- Festlegung der Erhebungsmethode
- Festlegung der Simulationszeitdauer für einen Lauf
- Festlegung der Simulationszeiteinheit
- Festlegung der Art der durchzuführenden Versuche

Für dieses Modell erscheint es zweckmässig, als Erhebungsmethode einen Lauf des Modells über n Arbeitstage durchzuführen. Die Anfangs- und Endpunkte der Teilläufe sind durch die jeweilige tägliche Arbeitsdauer gegeben.

Die Festlegung der Simulationsdauer für einen Lauf bringt Schwierigkeiten wegen der Unkenntnis bedeutsamer Laufparameter des Modells:

- Länge der Einlaufphase
- Ende von Schwankungseffekten
- erforderliche Länge der Simulation zur Erreichung einer genügenden statistischen Stabilität

Mit Rücksicht auf diese Probleme und auf wirtschaftliche Aspekte der Kosten der Simulationsversuche wurden die Laufzeiten des Modells festgelegt:

- Lauf zur Modellvalidierung (inkl. Einlaufphase):
  60 000 Zeiteinheiten (Minuten)

- Läufe zur Systemoptimierung (ohne Einlaufphase):
  je 40 000 Zeiteinheiten (Minuten)

---

72) Niemeyer G.: Systemsimulation, Frankfurt a.M. 1973, S. 346

Diese Simulationsdauer erscheint genügend, da sich über eine solche Zeit ein mögliches Modellungleichgewicht bemerkbar macht und bei der gegebenen normalen Durchlaufdauer der Aufträge von 2 - 14 Tagen alle wesentlichen Ereignisse und die daraus abgeleiteten Zustandsänderungen mindestens einmal eingetreten sind.

Als Simulationszeiteinheit wurde die Minute gewählt, da der Zeithorizont eines Simulationslaufs 1 Arbeitstag beträgt und die Minute in der Feinheit der Darstellung der Ereignisse ausreichend, in bezug auf den Rechenaufwand aber noch tragbar ist.

Geplant und durchgeführt wurden die Versuche:

- Lauf mit Prioritätsregel FCFS (Modellvalidierung)
- Lauf mit Prioritätsregel KOZ (Systemoptimierung)
- Lauf mit Prioritätsregel SCHLPF (Systemoptimierung)
- Lauf mit Prioritätsregel CONWAY (Systemoptimierung)
  (Gründe für die Auswahl der Regeln siehe Seite 33 ff)

Der Simulationslauf mit der Regel FCFS soll nicht nur der Modellvalidierung dienen, sondern auch ein Test für die Terminplanungsmöglichkeiten des Modells sein. Der Unterschied zur Validierung besteht darin, dass bei der Terminplanung die tatsächlichen Fertigstellungszeiten nicht bekannt sind. Eine Planung wird dadurch ermöglicht, dass die zu einem Zeitpunkt gegebenen Aufträge mit Hilfe von nachfolgenden, nichtexistenten Aufträgen durch das Modell geschoben werden bis ihr Fertigstellungstermin bekannt wird. Das Nachschieben von nichtexistenten Aufträgen ist notwendig, da sonst die Aufträge, deren Fertigstellungstermin von Interesse ist, im Modell hängenbleiben würden, da die Mindestmengen bei bestimmten Maschinen nicht erreicht würden. Diese Methode ist aber nur bei der Prioritätsregel FCFS erlaubt, da andere Prioritätsregeln wegen ihrer Prioritätskriterien die Reihenfolgen so ändern würden, dass nichtexistente Aufträge die realen Aufträge verzögerten.

8.2. Zur Durchführung der Simulation: Einfahren des Modells

Das Modell SIMTEX beginnt am ersten Arbeitstag in leerem Zustand und erreicht über eine sogenannte "Warm-up-Phase" den dem realen Betrieb entsprechenden Systemzustand.

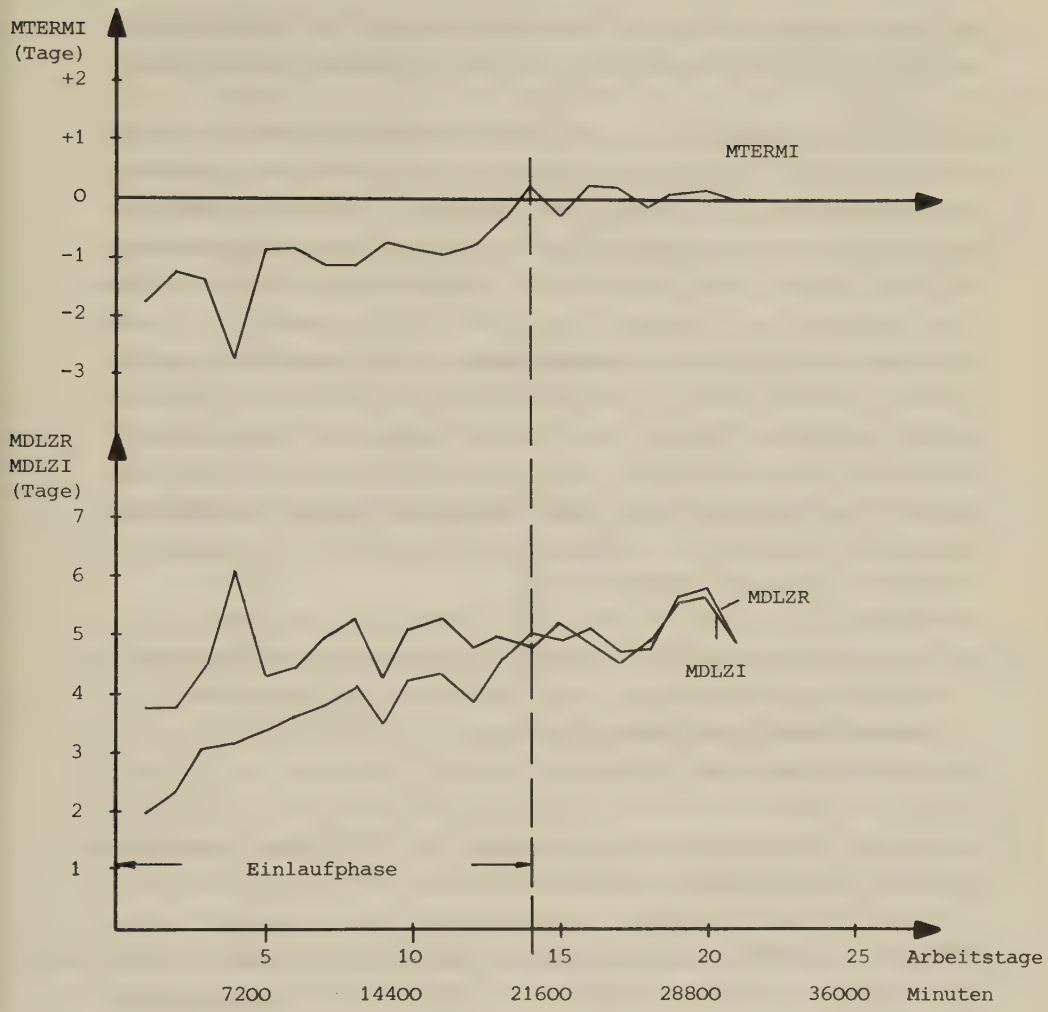
Die Dauer einer solchen Einlaufphase kann nicht exakt vorhergesagt werden. Es sind aber Anhaltspunkte gegeben, die erkennen lassen, wann der Einlaufprozess beendet ist:

- Die Anzahl der im Modell vorhandenen Aufträge stabilisiert sich

- Die mittlere Durchlaufzeit der Aufträge erreicht den geforderten Wert

- Die Auslastung des Betriebes erreicht normale Werte

Das nachstehende Bild 10 zeigt die Einlaufphase des Simulationsmodells.



MDLZR = Errechnete mittlere Durchlaufzeit der Aufträge

MDLZI = Mittlere Ist-Durchlaufzeit der Aufträge

MTERMI = Mittlere Terminüberschreitung zwischen errechneter und Ist-Durchlaufzeit der Aufträge

Bild 10: Einlaufphase des Simulationsmodells des getesteten Textil-lohnveredlungsbetriebes

8.3. Resultate in bezug auf die Validierung des Simulationsmodells und die daraus ableitbare Güte der Terminplanung

Zur Modellvalidierung wurde der betrachtete Betrieb 60 000 Zeiteinheiten lang mit der Prioritätsregel FCFS simuliert. Tabelle 3 zeigt die Anzahl der Aufträge, die sich während des Betrachtungszeitraums im Betrieb zur Veredlung befanden. Am Ende eines jeden simulierten Arbeitstages wurde ihr Status entweder als "wartend" oder als "fertiggestellt" festgehalten. In Bild 11 ist dieser Sachverhalt graphisch dargestellt. Die Gesamtzahl der Aufträge und die Anzahl der wartenden Aufträge weisen eine leicht steigende Tendenz auf. Dies ist so zu erklären, dass im Betrachtungszeitraum die Anzahl der Aufträge mit einer grösseren Anzahl von Bearbeitungen leicht zunahm. Die Fertigstellungsrate schwankte aus folgenden Gründen beträchtlich:

- unterschiedliche Arbeitszeit an verschiedenen Arbeitstagen
- unterschiedliche Anzahl von Bearbeitungen pro Auftrag
- unterschiedliche Auftragsgrössen
- unterschiedlicher Auftragseingang

Insgesamt zeigen die Auftragsdaten die für einen Lohnbetrieb typisch schwankenden Auftragsmengen.

Tabelle 4 enthält die Ergebnisse des Simulationslaufs. Betrachtet wurde die mittlere Wartezeit (MWZT), die Standardabweichung der Wartezeit (WSTDEV), die errechnete mittlere Durchlaufzeit (MDLZR) und ihre Standardabweichung (SDEVR), die mittlere Soll-Durchlaufzeit (MDLZS) mit Standardabweichung (SDEVS) und die mittlere tatsächliche Durchlaufzeit (MDLZI) mit Standardabweichung (SDEVI), sowie die mittleren errechneten Terminüberschreitungen gegenüber Soll (MTERMS) und Ist (MTERMI).

Das Ergebnis der mittleren errechneten Terminüberschreitung gegenüber dem Ist-Wert (MTERMI) ergibt eine Abweichung von 0,196 Tagen, was bei einer durchschnittlichen mittleren Durchlaufzeit (MDLZI) von 5,16 Tagen einen durchschnittlichen Fehler von 3,8 % bedeutet. Dies kann als sehr guter Wert und als Bestätigung für die Richtigkeit des Modells angesehen werden. Dies spricht auch für die Güte des Modells für die Terminplanung.

Die mittlere errechnete Terminüberschreitung gegenüber dem Soll-Wert ergibt eine Abweichung von 1 Tag. Dies hat 2 Ursachen:

- Die Soll-Fertigstellungszeiten wurden zu optimistisch angenommen.

- Die Auslastung des Betriebes ist im Betrachtungszeitraum zu hoch, als dass die Soll-Zeiten eingehalten werden könnten.

Die einzelnen Werte der Standardabweichungen sind relativ hoch, aber verständlich, wenn man die sehr unterschiedliche Anzahl von Bearbeitungen bei den verschiedensten Artikeln berücksichtigt. Für eine Anwendung in der Praxis ist unbedingt eine Aufteilung der Aufträge in Behandlungsgruppen wie Bleichware, Farbware oder Spannware vorzusehen. Dies dürfte die Standardabweichung innerhalb der einzelnen Gruppen stark vermindern.

Die Standardabweichung der Ist-Durchlaufzeit (SDEVI) ist grösser als die der errechneten Durchlaufzeit (SDEVR). Die Gründe dafür (siehe auch Abschnitt 3.4.3.) sind:

- Aufträge laufen nicht durch die Maschinengruppen, die für die betreffenden Artikel im Simulationsmodell vorgesehen sind (Gründe: Defekte Maschinen, qualitative Erfordernisse der Kundenware, Ausbesserungen von Fehlbearbeitungen)

- Aufträge werden kurzfristig mit höherer Priorität versehen. Dies lässt andere Aufträge länger als normal warten

- Arbeitszeit ist nicht so angesetzt, wie für das Simulationsmodell angegeben (kurzfristig angesetzte Überstundenleistungen)

Die Ergebnisse der Modellvalidierung und zur Terminplanung sind in den Bildern 12, 13 und 14 graphisch dargestellt.

Tabelle 3: Aufträge im System innerhalb des Betrachtungszeitraums bei Simulation mit Prioritätsregel FCFS

Tag	heute	Vortage	gesamt	warten	fertig
1	172	0	172	129	43
2	156	129	285	219	66
3	241	219	460	265	195
4	232	265	497	376	121
5	218	376	594	399	195
6	208	399	607	438	169
7	130	438	568	446	122
8	197	446	643	419	224
9	205	419	624	456	168
10	206	456	662	467	195
11	199	467	666	544	122
12	159	544	703	602	101
13	257	602	859	696	163
14	222	696	918	695	223
15	157	695	852	643	209
16	204	643	847	596	251
17	156	596	752	624	128
18	235	624	859	644	215
19	229	644	873	621	252
20	214	621	835	626	209
21	329	626	865	682	183
22	161	682	843	721	122
23	198	721	919	671	248
24	214	671	885	666	219
25	270	666	936	724	212
26	197	724	921	696	225
27	188	696	884	719	165
28	220	719	939	708	231
29	227	708	935	707	228
30	204	707	911	670	241
31	187	670	857	677	180
32	140	677	817	672	145
33	223	672	895	702	193
34	248	702	950	745	205
35	195	745	940	717	223
36	207	717	924	726	198
37	173	726	899	769	130
38	244	769	1013	845	168
39	137	845	982	783	199
40	200	783	983	771	212
41	187	771	958	756	201
ø	202	697	899	698	201

(Durchschnittswerte ohne Einlaufphase)

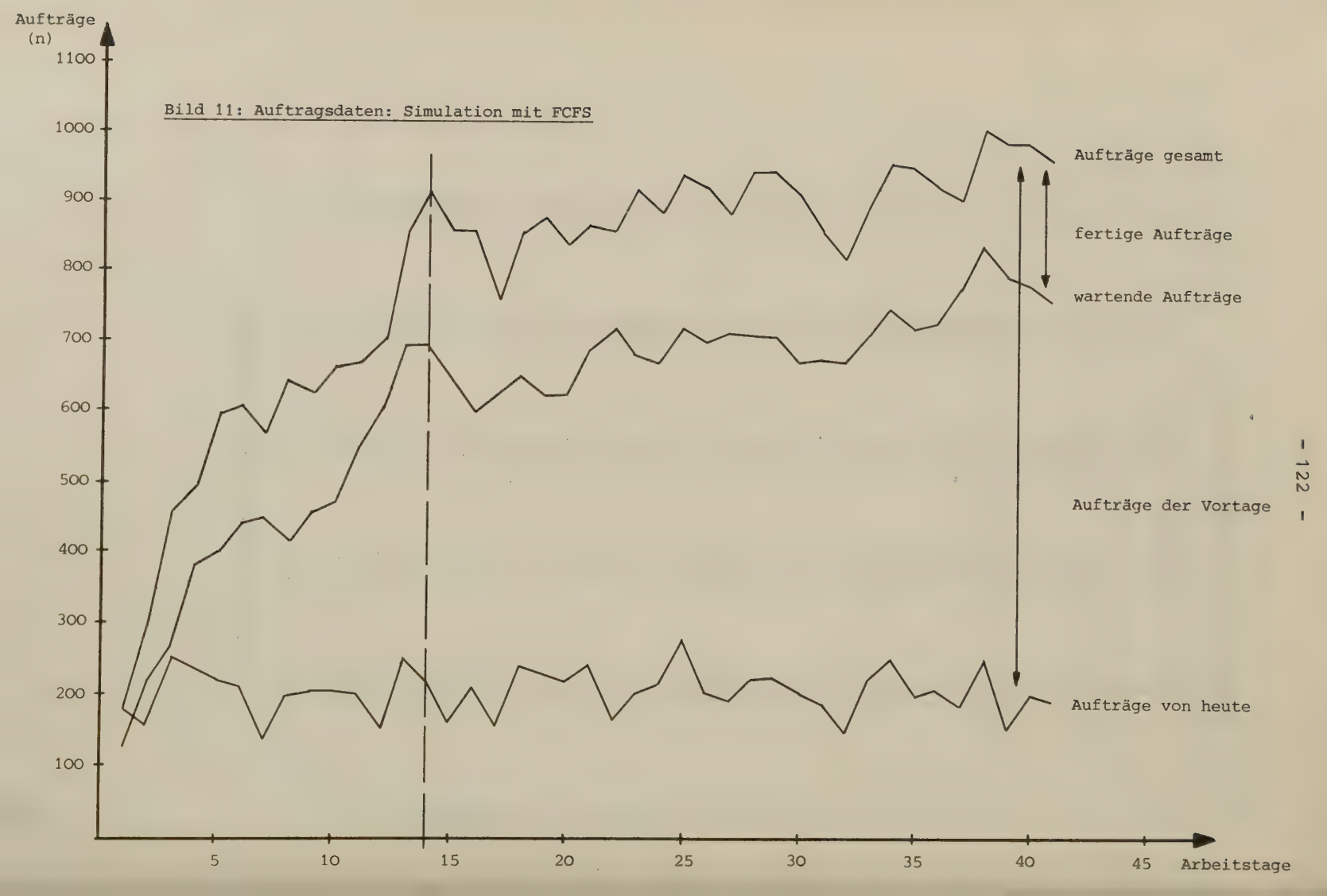


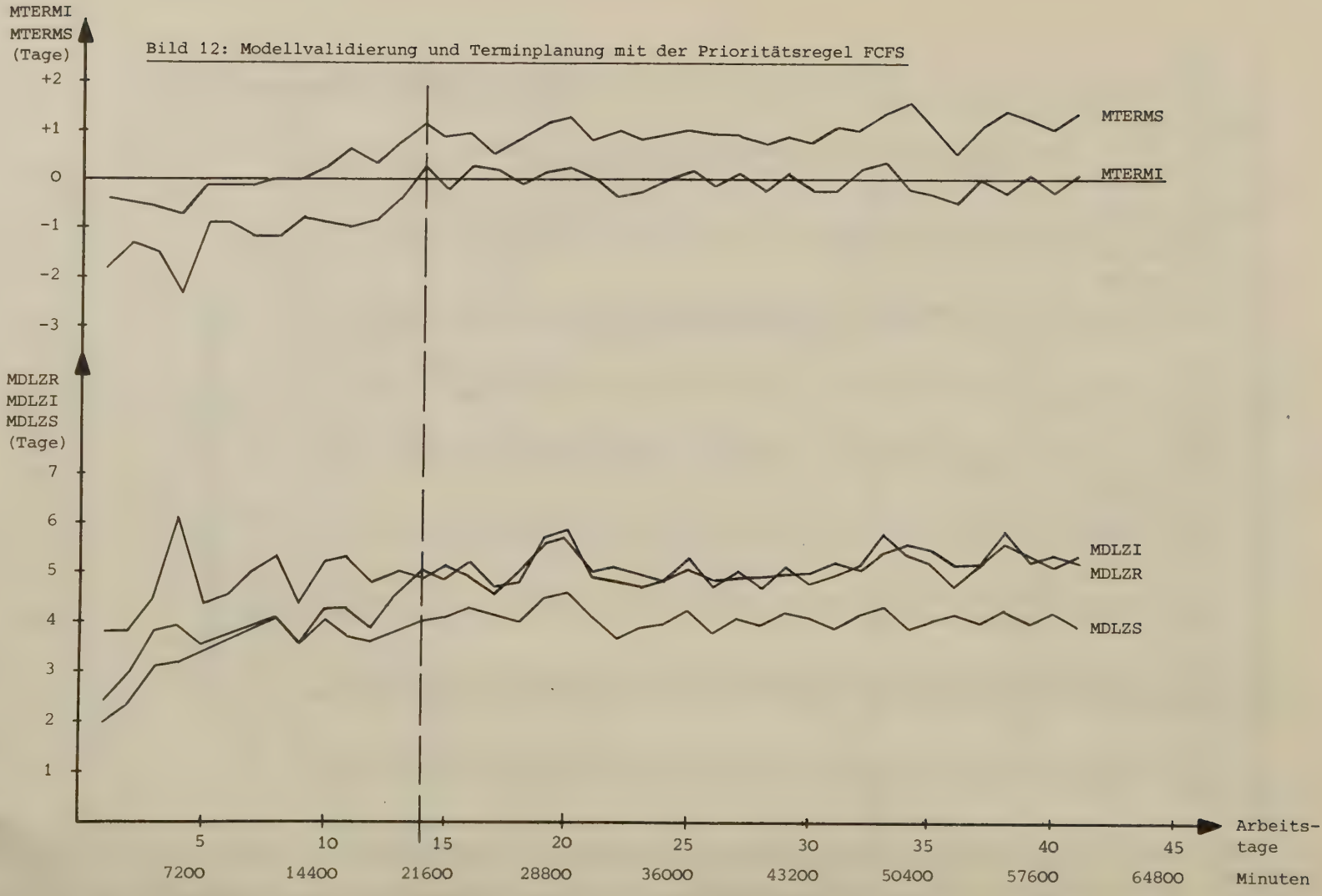
Bild 11: Auftragsdaten: Simulation mit FCFS

Tabelle 4: Ergebnisse des Simulationslaufs mit der Prioritätsregel FCFS

Tag	MWZT (min)	WSTDEV (min)	MDLZR (Tag)	SDEVR (Tag)	MDLZS (Tag)	SDEVS (Tag)	MDLZI (Tag)	SDEVI (Tag)	MTERMS (Tag)	MTERMI (Tag)
1	131	129	2,0	0,0	2,4	0,7	3,8	2,7	-0,4	-1,8
2	599	547	2,4	0,7	2,9	1,7	3,8	1,6	-0,5	-1,3
3	1221	792	3,1	0,8	3,7	1,5	4,5	2,6	-0,6	-1,5
4	1524	1040	3,2	1,0	3,9	1,8	6,1	5,1	-0,7	-2,9
5	1717	984	3,4	1,1	3,5	1,4	4,3	2,0	-0,1	-0,9
6	1905	1443	3,6	1,5	3,7	1,5	4,5	2,2	-0,1	-0,9
7	2105	1387	3,8	1,6	3,9	1,7	5,0	2,4	-0,1	-1,2
8	2548	1637	4,1	1,5	4,1	1,4	5,3	4,6	0,0	-1,2
9	1857	1884	3,5	1,9	3,5	1,5	4,3	2,9	0,0	-0,8
10	2893	2358	4,3	2,0	4,1	1,4	5,2	4,2	0,2	-0,9
11	2820	2894	4,3	2,5	3,7	1,7	5,3	3,5	0,6	-1,0
12	2330	2251	3,9	2,1	3,6	1,6	4,8	3,0	0,3	-0,9
13	3296	2654	4,6	2,3	3,8	1,6	5,0	3,5	0,8	-0,4
14	4012	3210	5,1	2,6	4,0	1,5	4,8	3,0	1,1	0,3
15	3685	2954	4,9	2,5	4,1	1,3	5,2	4,5	0,8	-0,3
16	4117	3668	5,2	2,9	4,3	1,6	4,9	3,1	0,9	0,3
17	3371	2904	4,7	2,4	4,1	1,3	4,5	2,5	0,5	0,2
18	3506	3239	4,8	2,7	4,0	1,7	4,9	4,6	0,8	-0,1
19	5166	3611	5,7	2,9	4,5	1,4	5,6	3,5	1,2	0,1
20	4843	3445	5,9	2,8	4,6	1,4	5,7	3,8	1,3	0,2
21	3552	2604	4,9	2,3	4,1	1,5	4,9	2,5	0,8	0,0
22	3287	2345	4,8	2,0	3,8	1,7	5,2	5,4	1,0	-0,4
23	3504	2214	4,7	2,0	3,9	1,6	5,0	3,6	0,8	-0,3
24	3731	2999	4,9	2,5	4,0	1,5	4,9	3,4	0,9	0,0
25	4290	2865	5,3	2,4	4,3	1,5	5,1	2,9	1,0	0,2
26	3525	3495	4,7	2,9	3,8	1,7	4,8	3,4	0,9	-0,1
27	3738	2942	5,0	2,5	4,1	1,5	4,9	2,5	0,9	0,1
28	3428	2892	4,7	2,5	4,0	1,7	4,9	2,7	0,7	-0,2
29	3959	3421	5,1	2,7	4,2	1,6	5,0	2,9	0,9	0,1
30	3596	2896	4,8	2,3	4,1	1,3	5,0	2,8	0,7	-0,2
31	3906	3794	5,0	3,0	3,9	1,9	5,2	3,2	1,1	-0,2
32	4059	3274	5,2	2,5	4,2	1,4	5,0	3,0	1,0	0,2
33	4832	3762	5,8	3,0	4,3	1,5	5,4	3,4	1,4	0,4
34	4495	3985	5,4	3,2	3,9	1,8	5,6	4,5	1,6	-0,2
35	4186	3365	5,2	2,7	4,1	1,6	5,5	4,2	1,1	-0,3
36	3433	3155	4,7	2,5	4,2	1,3	5,2	3,1	0,5	-0,5
37	3933	3531	5,2	2,7	4,1	1,4	5,2	3,4	1,1	0,0
38	4505	4844	5,6	3,8	4,2	1,4	5,9	4,3	1,4	-0,3
39	4381	3429	5,4	3,3	4,1	1,8	5,3	3,6	1,3	0,1
40	3895	3182	5,2	2,5	4,2	1,4	5,4	3,4	1,0	-0,2
41	4220	3457	5,4	3,2	4,0	1,5	5,3	3,6	1,4	0,1
ø	3968	3269	5,12	2,69	4,12	1,53	5,16	3,47	1,00	0,196

(Durchschnittswerte ohne Einlaufphase)

Bild 12: Modellvalidierung und Terminplanung mit der Prioritätsregel FCFS



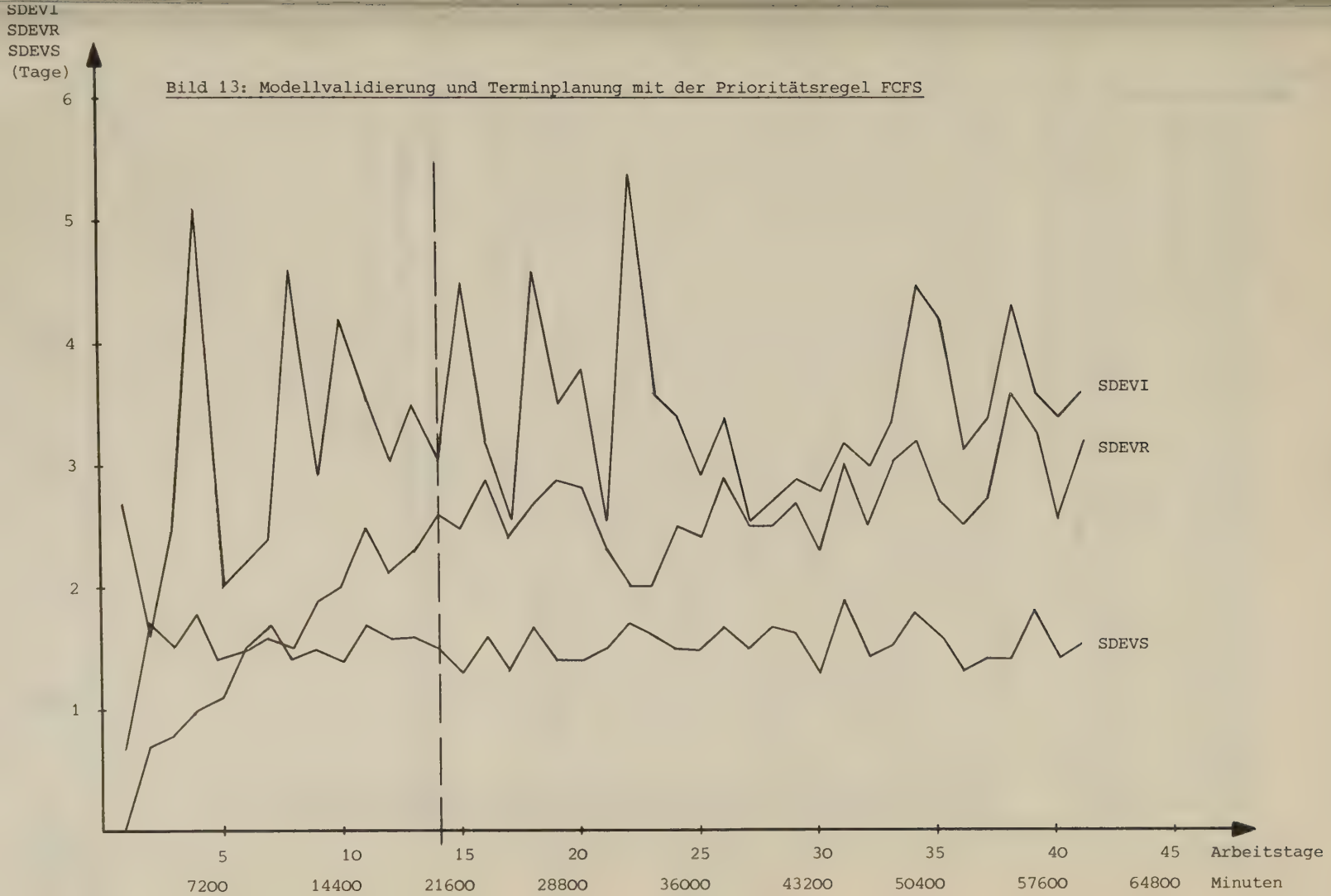
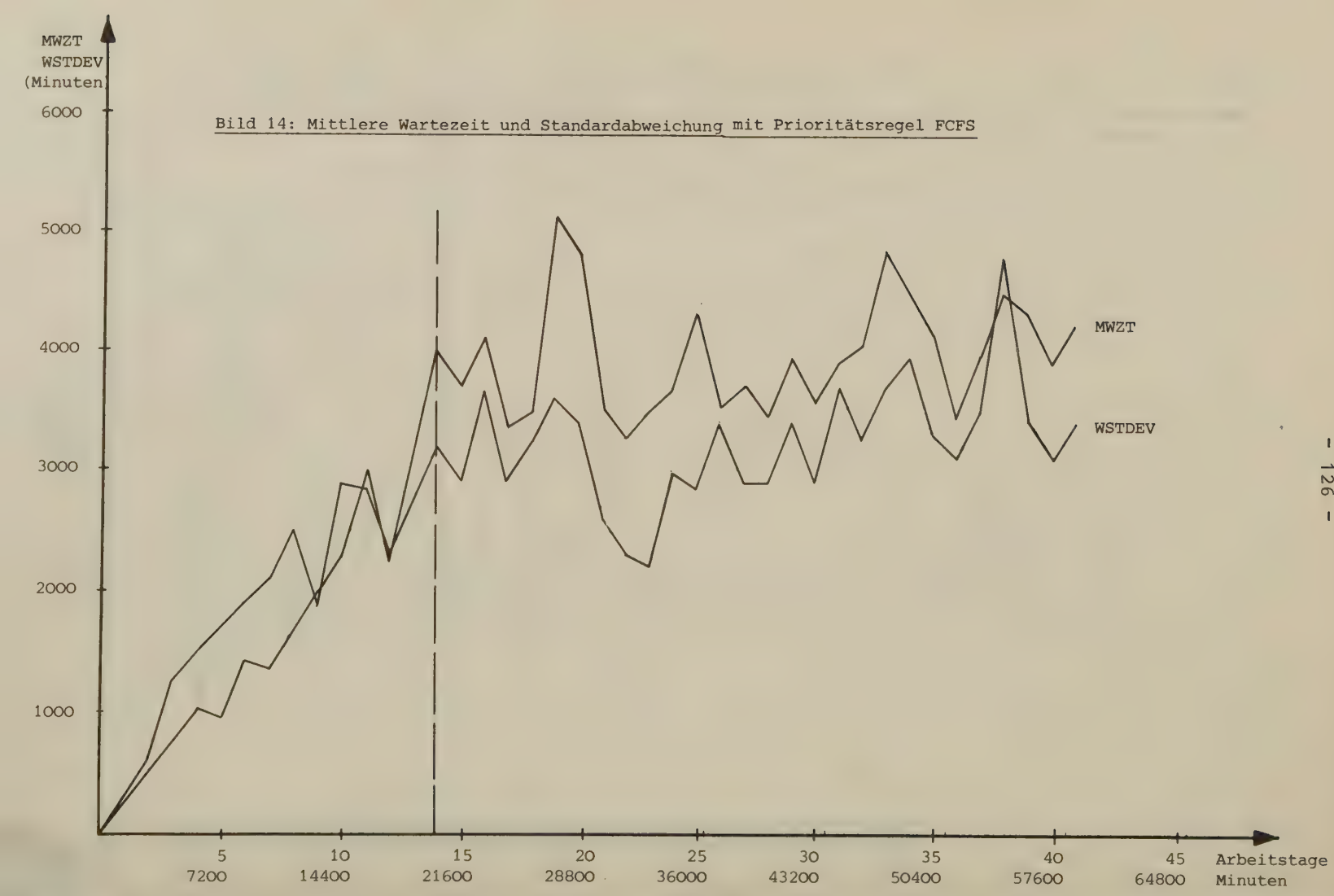


Bild 13: Modellvalidierung und Terminplanung mit der Prioritätsregel FCFS

Bild 14: Mittlere Wartezeit und Standardabweichung mit Prioritätsregel FCFS



8.4. Resultate des Modells in bezug auf die relative Optimierung von Zeit- und Kapazitätsparametern mit Hilfe der eingesetzten Prioritätsregeln

8.4.1. Resultate zur Minimierung der mittleren Durchlauf- bzw. Wartezeit und zur Maximierung der Kapazitätsauslastung mit Hilfe der Prioritätsregel KOZ

Der Simulationslauf mit der Prioritätsregel KOZ zur Minimierung der mittleren Durchlaufzeit erbrachte eine Reduktion von 5,12 auf 4,83 Tage. (= 0,29 Tage oder 6 %). Die Minimierung der Wartezeit reduzierte diese von durchschnittlich 3968 auf 3518 Minuten (= 450 min oder 11,3 %). Die Differenz des Optimierungsprozentsatzes ergibt sich aus der Differenz zwischen der Länge der Arbeitszeit pro Arbeitstag und der Gesamtlänge eines Tages in Minuten. Die Maximierung der Kapazitätsauslastung erbrachte gegenüber dem Lauf mit FCFS eine Verbesserung der Auslastung von durchschnittlich 1,23 %. Der Effekt der Regel KOZ liegt nicht in einer stark erhöhten, sondern in einer gleichmässigeren Auslastung der eingesetzten Maschinengruppen. Die mittlere Terminüberschreitung gegenüber dem Soll-Fertigstellungstermin reduzierte sich von 1 auf 0,7 Tage und bestätigte ebenfalls den günstigen Einfluss der Regel KOZ auf die zu optimierenden Parameter, wie er in den theoretischen Abhandlungen über die Regel KOZ angegeben wird.

In Tabelle 5 und 6 sind die mit dem Modell erreichten Werte zusammengefasst und in den Bildern 15, 16, 17, und 18 graphisch wiedergegeben.

Tabelle 5: Aufträge im System innerhalb des Betrachtungszeitraums
Simulation mit Prioritätsregel KOZ

Tag	heute	Vortage	gesamt	warten	fertig
1					
.					
.					
.		Einlaufphase			
.					
.					
14					
15	157	695	852	614	238
16	204	614	818	556	262
17	156	556	712	587	125
18	235	587	822	572	250
19	229	572	801	548	253
20	214	548	762	558	204
21	239	558	797	635	162
22	161	635	796	636	160
23	198	636	834	582	252
24	214	582	796	569	227
25	270	569	839	641	198
26	197	641	838	631	207
27	188	631	819	656	163
28	220	656	876	623	253
29	227	623	850	638	212
30	204	638	842	607	235
31	187	607	794	632	162
32	140	632	772	644	128
33	223	644	867	655	212
34	248	655	903	683	220
35	195	683	878	685	193
36	207	685	892	700	192
37	173	700	873	716	157
38	244	716	960	797	163
39	137	797	934	732	202
40	200	732	932	704	228
41	187	704	891	692	199
Ø	202	641	843	641	202

(Durchschnittswerte ohne Einlaufphase)

Bild 15: Auftragsdaten: Simulation mit KOZ

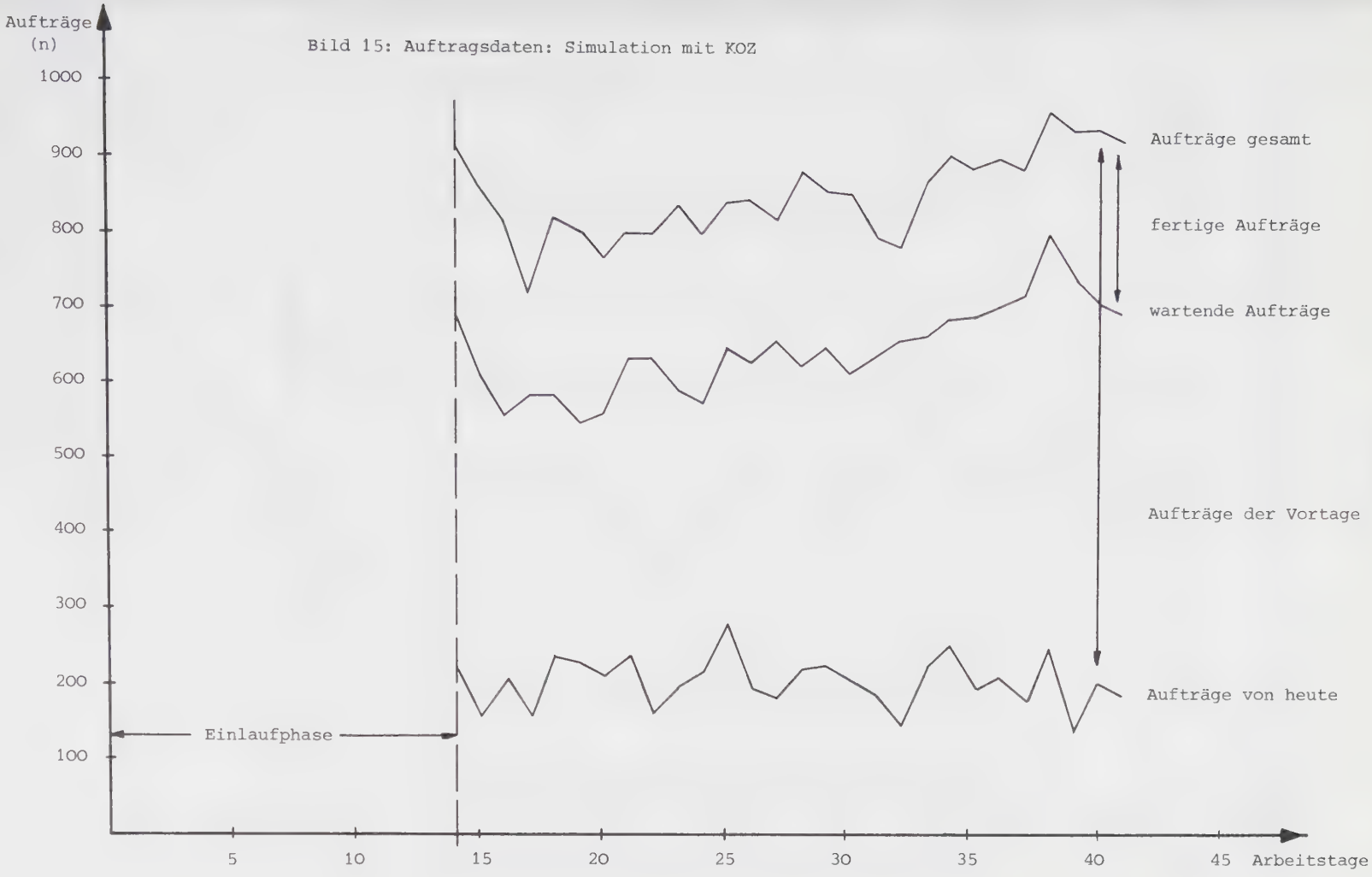
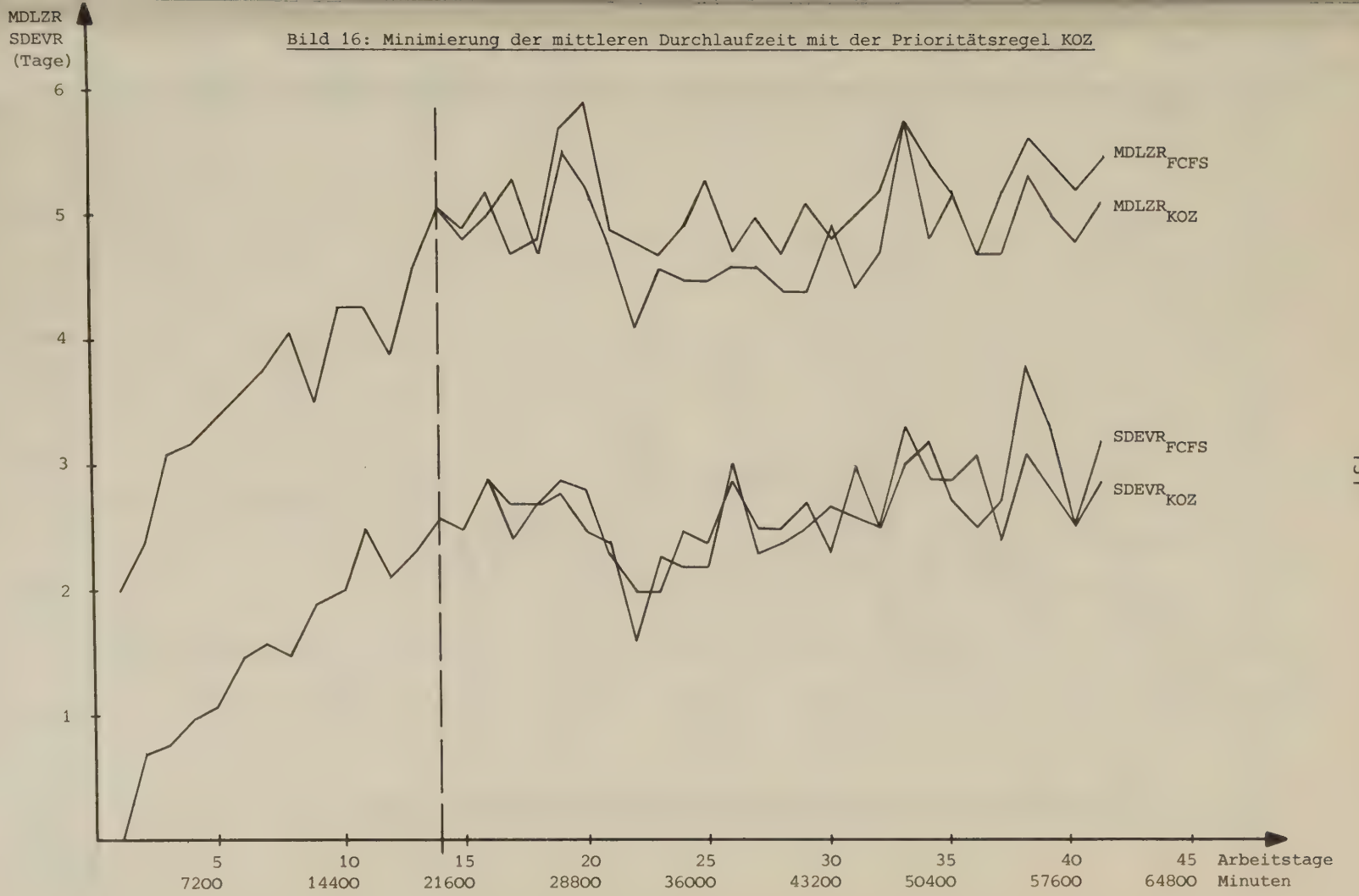


Tabelle 6: Ergebnisse des Simulationslaufs mit der Prioritätsregel KOZ

Tag	MWZT (min)	WSTDEV (min)	MDLZR (Tag)	SDEVR (Tag)	MDLZS (Tag)	SDEVS (Tag)	MTERMS (Tag)	DIFF Auslastg.FCFS (%)
1 14				Einlaufphase				
15	3450	2919	4,8	2,5	4,1	1,3	0,7	0,93
16	3728	3542	5,0	2,9	4,3	1,5	0,7	-1,60
17	4017	3460	5,3	2,7	4,3	1,4	1,0	1,74
18	3312	3219	4,7	2,7	4,1	1,4	0,6	1,35
19	4402	3472	5,5	2,8	4,5	1,4	1,0	4,68
20	3810	3133	5,2	2,5	4,6	1,4	0,6	0,36
21	3360	2752	4,7	2,4	3,9	1,8	0,8	-0,23
22	2258	1843	4,1	1,6	3,6	1,5	0,5	2,61
23	3326	2609	4,6	2,3	4,1	1,5	0,5	-0,28
24	3174	2623	4,5	2,2	4,0	1,8	0,5	-1,45
25	3135	2696	4,5	2,2	4,1	1,5	0,4	0,77
26	3222	3634	4,6	3,0	3,9	1,8	0,7	2,14
27	3167	2775	4,6	2,3	4,2	1,4	0,4	1,79
28	3033	2960	4,4	2,4	4,0	1,8	0,4	0,23
29	2987	3056	4,4	2,5	4,0	1,7	0,4	0
30	3665	3244	4,9	2,7	4,2	1,4	0,7	1,45
31	2956	3114	4,4	2,6	3,9	1,8	0,5	2,22
32	3452	3226	4,7	2,5	4,1	1,5	0,6	-0,99
33	4935	4129	5,8	3,3	4,3	1,5	1,5	4,04
34	3613	3420	4,8	2,9	3,9	1,8	0,9	-0,39
35	3374	3461	4,7	2,9	4,1	1,5	0,6	-0,14
36	4034	4116	5,2	3,1	4,2	1,4	1,0	2,95
37	3468	3342	4,7	2,4	4,1	1,5	0,6	1,90
38	3921	3704	5,3	3,1	4,2	1,4	1,1	0,14
39	3744	3349	5,0	2,8	4,3	1,5	0,7	1,99
40	3673	3242	4,8	2,5	4,2	1,4	0,6	3,63
41	3771	3195	5,1	2,9	4,3	1,6	0,8	3,43
ø	3518	3194	4,83	2,62	4,13	1,54	0,70	1,23

(Durchschnittswerte ohne Einlaufphase)

Bild 16: Minimierung der mittleren Durchlaufzeit mit der Prioritätsregel KOZ



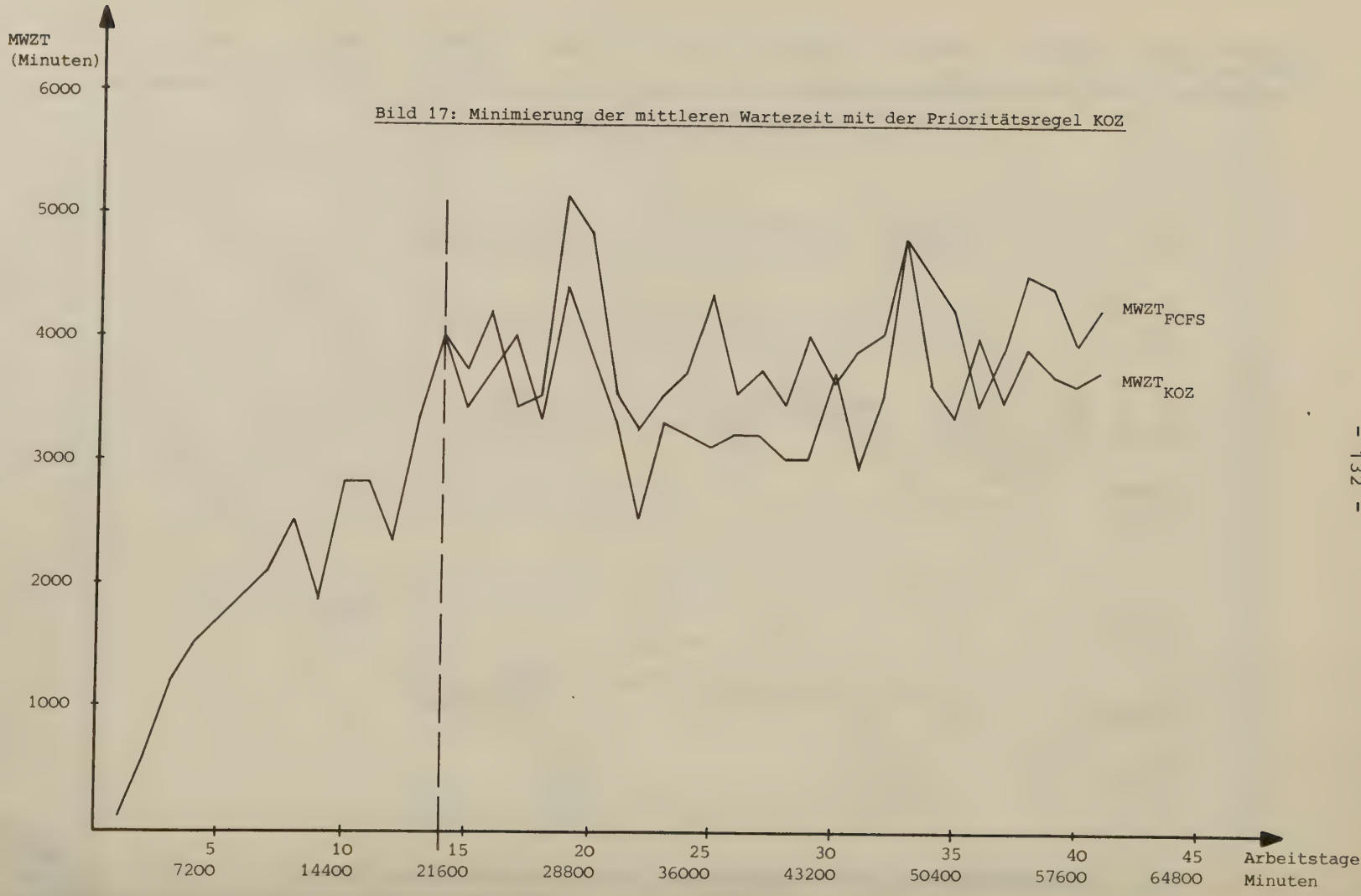
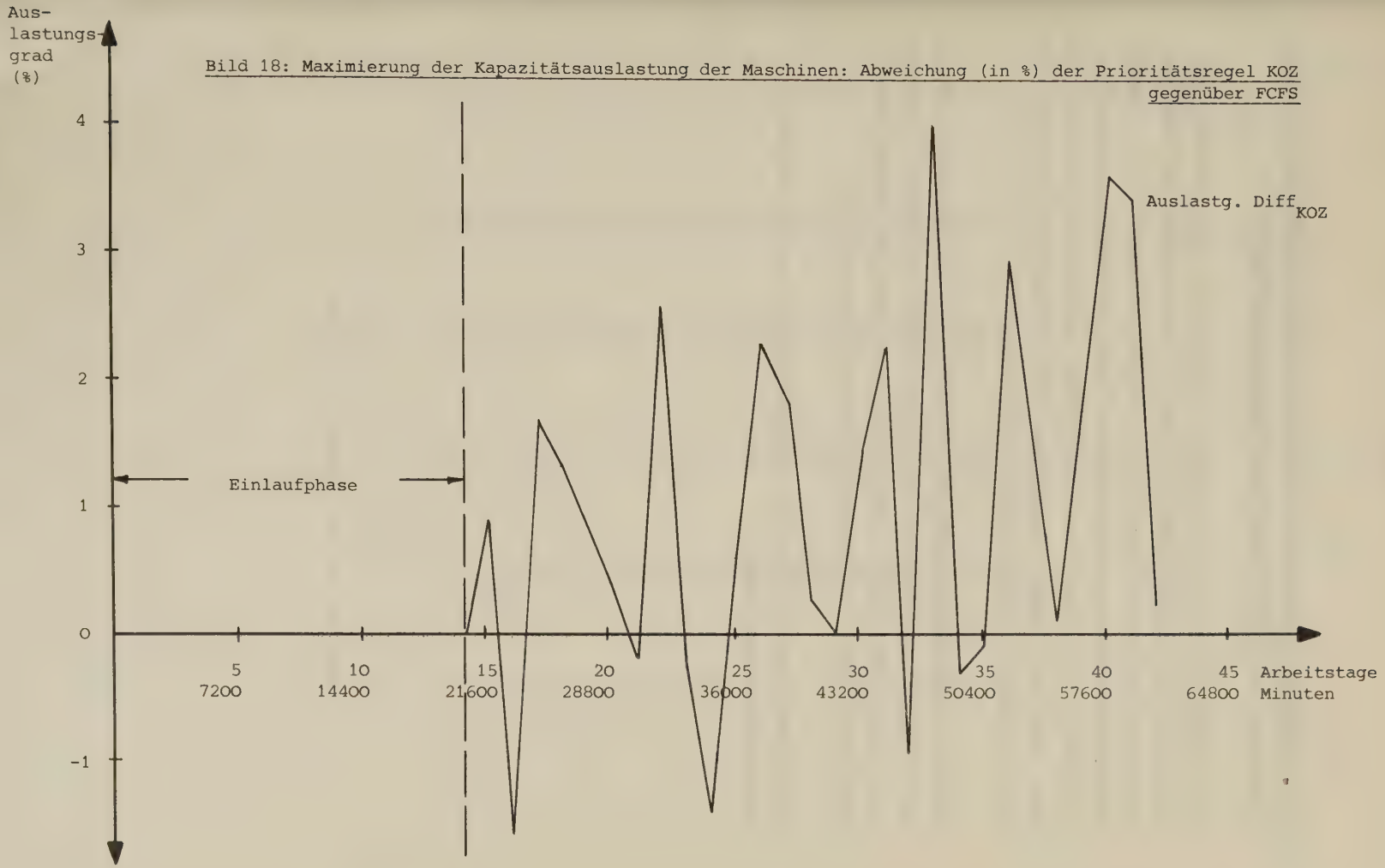


Bild 17: Minimierung der mittleren Wartezeit mit der Prioritätsregel KOZ

Bild 18: Maximierung der Kapazitätsauslastung der Maschinen: Abweichung (in %) der Prioritätsregel KOZ gegenüber FCFS



8.4.2. Resultate zur Minimierung der mittleren Terminüberschreitungszeit mit Hilfe der Prioritätsregel SCHLUPF

Der Einsatz der Prioritätsregel SCHLUPF zur Minimierung der mittleren Terminüberschreitungszeit konnte nicht befriedigen. Entgegen der Arbeit von Kanodia (siehe Abschnitt 4.2.) konnte keine Verringerung der mittleren Terminüberschreitungszeit (MTERMS = 1,02 Tage) der Ist- zu den Soll-Werten erreicht werden. Dies gilt sowohl gegenüber FCFS (MTERMS = 1,00 Tage) als auch gegenüber KOZ (MTERMS = 0,70 Tage).

Auch die anderen berechneten Parameter erbrachten keine besseren Ergebnisse als bei den zuvor getesteten Regeln, so dass ein Einsatz der Regel SCHLUPF in der Praxis der Textillohnveredlung nicht in Betracht gezogen werden sollte.

Tabellen 7 und 8 sowie die Abbildungen 19 und 20 zeigen die Resultate dieser Regel.

Tabelle 7: Aufträge im System innerhalb des Betrachtungszeitraums bei Simulation mit Prioritätsregel SCHLUPF

Tag	heute	Vortage	gesamt	warten	fertig
1					
.					
.					
.					
.		Einlaufphase			
.					
14					
15	157	695	852	642	210
16	204	642	846	602	244
17	156	602	758	623	135
18	235	623	858	683	175
19	229	683	912	649	263
20	214	649	863	622	241
21	239	622	861	707	154
22	161	707	868	697	171
23	198	697	895	645	250
24	214	645	859	649	210
25	270	649	919	684	235
26	197	684	881	686	195
27	188	686	874	750	124
28	220	750	970	744	226
29	227	744	971	704	267
30	204	704	908	636	272
31	187	636	823	693	130
32	140	693	833	680	153
33	223	680	903	692	211
34	248	692	940	751	189
35	195	751	946	723	223
36	207	723	930	763	167
37	173	763	936	802	134
38	244	802	1046	832	214
39	137	832	969	774	195
40	200	774	974	735	239
41	187	735	922	742	180
ø	202	699	901	701	200

(Durchschnittswerte ohne Einlaufphase)

Bild 19: Auftragsdaten: Simulation mit SCHLUPF

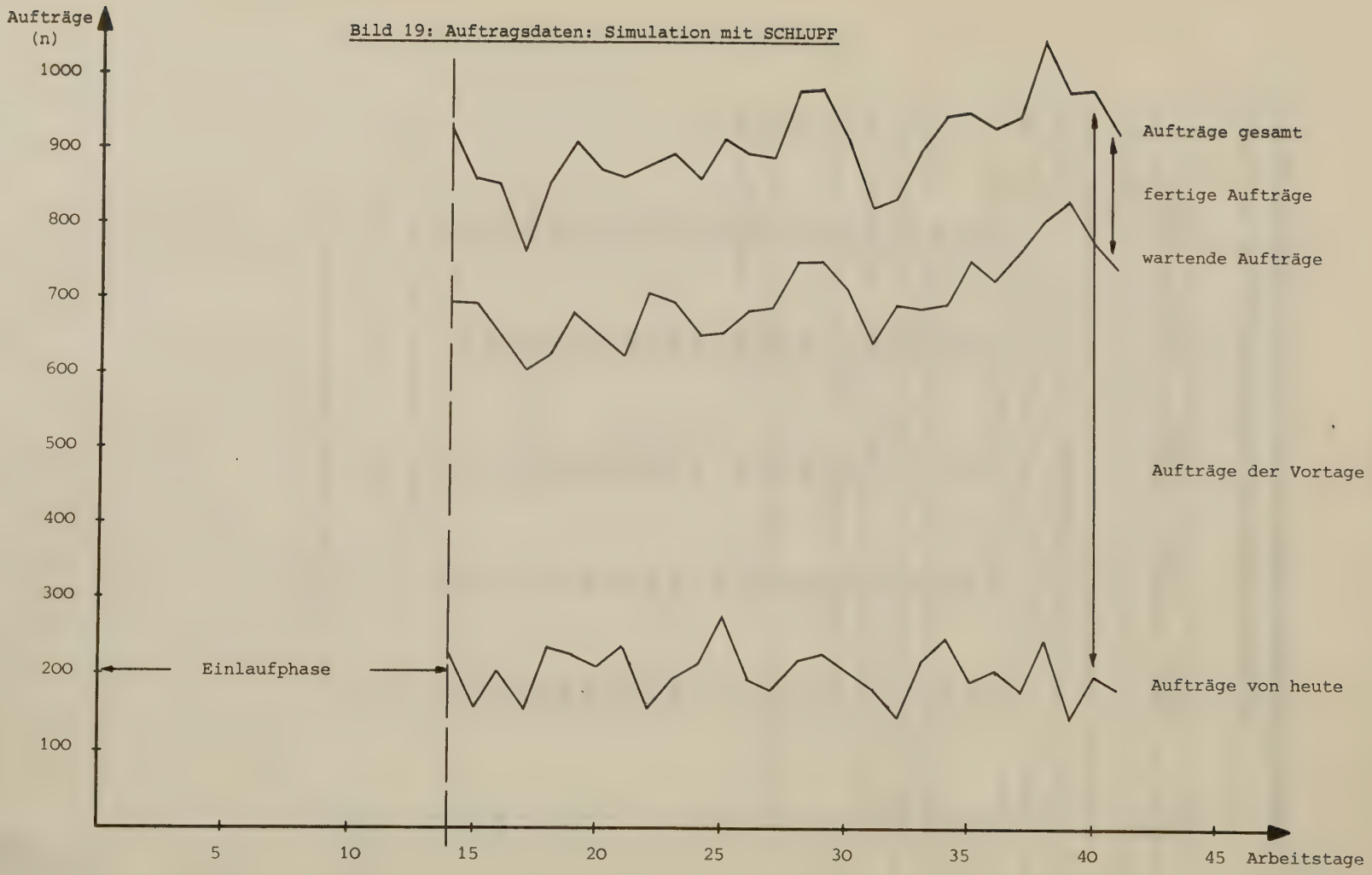
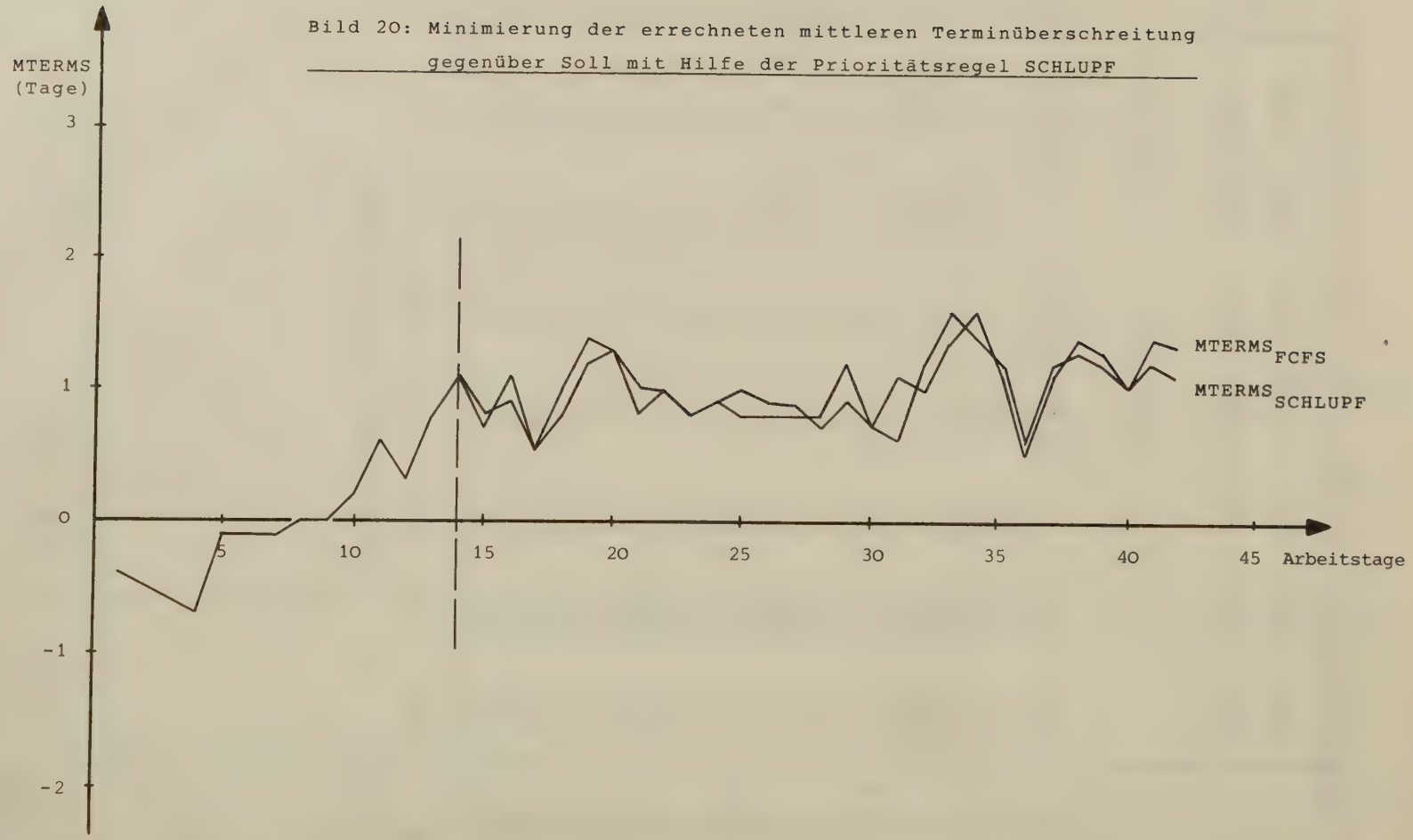


Tabelle 8: Ergebnisse des Simulationslaufs mit der Prioritätsregel SCHLUPF

Tag	MWZT (min)	WSTDEV (min)	MDLZR (Tag)	SDEVR (Tag)	MDLZS (Tag)	SDEVS (Tag)	MTERMS (Tag)	DIFF Auslastg.FCFS (%)
1 14				Einlaufphase				
15	3486	2908	4,7	2,4	4,0	1,3	0,7	0,75
16	4260	3741	5,4	3,0	4,3	1,5	1,1	3,46
17	3269	2974	4,7	2,5	4,2	1,4	0,5	-4,18
18	3699	3454	4,8	2,8	3,8	1,6	1,0	2,55
19	4944	3526	5,8	2,8	4,4	1,4	1,4	-2,29
21	3729	3043	5,0	2,7	4,0	1,5	1,0	-0,28
22	3650	2450	4,9	2,2	3,8	1,8	1,0	5,56
23	3228	2443	4,5	2,1	3,7	1,5	0,8	0,04
24	4017	2515	5,2	2,1	4,3	1,5	0,9	0,41
25	3645	2926	4,8	2,5	4,1	1,5	0,8	4,87
26	3492	3569	4,7	2,9	3,9	1,8	0,8	-0,77
27	3185	2439	4,6	2,1	3,8	1,5	0,8	1,56
28	3656	3122	4,9	2,7	4,1	1,5	0,8	-0,97
29	4232	3354	5,3	2,6	4,1	1,5	1,2	2,26
30	3791	3303	5,0	2,7	4,3	1,4	0,7	4,94
31	2673	2962	4,1	2,4	3,5	1,6	0,6	7,66
32	4480	3795	5,6	3,0	4,4	1,4	1,2	0,56
33	4968	4000	5,8	3,3	4,2	1,6	1,6	-0,86
34	4399	3866	5,4	3,0	4,0	1,6	1,4	-0,99
35	3984	3504	5,1	2,8	3,9	1,6	1,2	0,98
36	3911	3248	4,9	2,6	4,3	1,5	0,6	2,12
37	4217	3008	5,4	2,4	4,2	1,2	1,2	3,72
38	4510	4734	5,5	3,6	4,2	1,5	1,3	2,85
39	4156	3555	5,3	2,9	4,1	1,4	1,2	0,52
40	3988	3196	5,2	2,3	4,2	1,5	1,0	1,00
41	4321	3622	5,3	2,3	4,0	1,5	1,3	0,03
ø	3956	3291	5,11	2,65	4,09	1,50	1,02	1,21

(Durchschnittswerte ohne Einlaufphase)

Bild 20: Minimierung der errechneten mittleren Terminüberschreitung gegenüber Soll mit Hilfe der Prioritätsregel SCHLUPF



8.4.3. Resultate zur Minimierung der mittleren Terminüberschreitungszeit mit Hilfe der Prioritätsregel CONWAY

Der Lauf mit der Prioritätsregel CONWAY zur Minimierung der mittleren Terminüberschreitungszeit brachte wesentlich bessere Ergebnisse als jener mit der Regel SCHLUPF. Die errechnete Terminüberschreitung gegenüber dem Soll-Wert (MTERMS) verringerte sich von 1,02 Tagen (SCHLUPF) auf 0,85 Tage, was eine Verkürzung der mittleren Terminüberschreitung um 0,17 Tage oder 19,9 % ergibt. Allerdings erbringt auch hier die Prioritätsregel KOZ mit einer mittleren Terminüberschreitungszeit von 0,70 Tagen bessere Ergebnisse.

Die mittlere Wartezeit verringerte sich gegenüber SCHLUPF ebenfalls um 186 Minuten oder 4,93 %, wobei die Standardabweichung ungefähr konstant blieb. Die errechnete mittlere Durchlaufzeit sank von 5,11 (SCHLUPF) auf 4,96 Tage. Dies ist eine Reduktion von 0,15 Tagen oder 3 %. Auch hier bringt der Lauf mit der Regel KOZ mit 4,83 Tagen bessere Ergebnisse. Die Standardabweichung der errechneten mittleren Durchlaufzeit bleibt gegenüber SCHLUPF unverändert. Ebenso die Soll-Werte der mittleren Durchlaufzeit und deren Standardabweichung.

Das beste Ergebnis der Prioritätsregel CONWAY ergibt sich in der Differenz der Betriebsauslastung zum Lauf mit der Regel FCFS mit dem Durchschnittswert von +1,33 %, wobei Maximalwerte von annähernd +10 % erreicht werden.

In den Tabellen 9 und 10 sowie in den Abbildungen 19 und 20 sind die Ergebnisse dargestellt.

Tabelle 9: Aufträge im System innerhalb des Betrachtungszeitraums bei der Simulation mit Prioritätsregel CONWAY

Tag	heute	Vortage	gesamt	warten	fertig
1					
.					
.					
.		Einlaufphase			
.					
.					
14					
15	157	695	852	628	224
16	204	628	832	561	271
17	156	561	717	584	133
18	235	584	819	594	225
19	229	594	823	576	247
20	214	576	790	578	212
21	239	578	817	660	157
22	161	660	821	681	140
23	198	681	879	652	227
24	214	652	866	671	195
25	270	671	941	739	202
26	197	739	936	681	255
27	188	681	869	697	172
28	220	697	917	661	256
29	227	661	888	670	218
30	204	670	874	652	222
31	187	652	839	660	179
32	140	660	800	625	175
33	223	625	848	689	159
34	248	689	937	691	246
35	195	691	886	687	199
36	207	687	894	722	172
37	173	722	895	749	146
38	244	749	993	786	207
39	137	786	923	745	178
40	200	745	945	732	213
41	187	732	919	725	194
Ø	202	669	871	670	201

(Durchschnittswerte ohne Einlaufphase)

Bild 21: Auftragsdaten: Simulation mit CONWAY

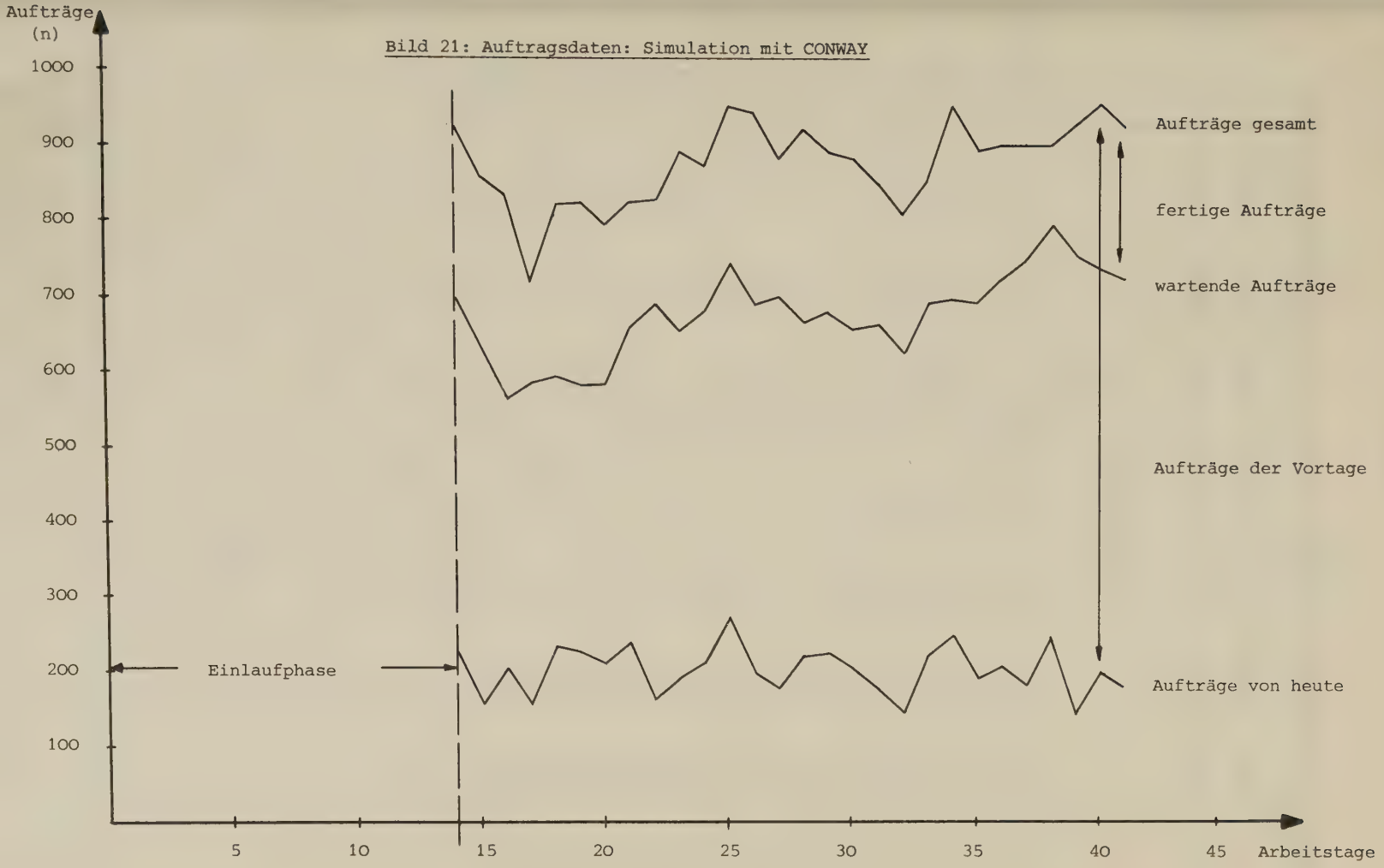


Tabelle 10: Ergebnisse des Simulationslaufs mit der Prioritätsregel CONWAY

Tag	MWZT (min)	WSTDEV (min)	MDLZR (Tag)	SDEVR (Tag)	MDLZS (Tag)	SDEVS (Tag)	MTERMS (Tag)	DIFF Auslastg.FCFS (%)
1								
.								
.								
.			Einlaufphase					
.								
.								
14								
15	3523	2841	4,8	2,4	4,1	1,3	0,7	0,60
16	3843	3627	5,0	2,9	4,3	1,5	0,8	2,33
17	2833	2876	4,4	2,3	4,1	1,2	0,3	-0,48
18	3749	3704	4,9	3,1	4,0	1,5	0,9	1,50
19	4712	3433	5,7	2,7	4,5	1,4	1,2	5,41
20	4112	3422	5,4	2,8	4,6	1,5	0,8	-2,17
21	3449	2636	4,8	2,4	4,0	1,8	0,8	0,07
22	2858	2507	4,2	2,0	3,4	1,5	0,8	1,92
23	3295	2206	4,6	2,0	3,9	1,6	0,7	-2,46
24	4060	3268	5,2	2,7	4,1	1,7	1,1	3,23
25	3935	2983	5,0	2,3	4,1	1,4	0,9	0,41
26	3999	3540	5,1	2,8	4,0	1,5	1,1	2,97
27	3486	2521	4,8	2,2	4,2	1,4	0,6	0,14
28	2953	2835	4,4	2,4	3,9	1,7	0,5	0,41
29	3428	3410	4,7	2,8	4,0	1,5	0,7	0,35
30	3702	3394	4,9	2,8	4,1	1,4	0,8	5,85
31	3634	3453	4,8	2,8	4,0	1,6	0,8	9,81
32	4285	3384	5,4	2,7	4,4	1,4	1,0	-4,05
33	4451	4182	5,4	3,3	3,9	1,8	1,5	0,23
34	3843	3524	5,0	3,0	4,1	1,5	0,9	2,18
35	3544	3516	4,7	2,8	3,9	1,8	0,8	2,73
36	3898	3938	5,0	3,0	4,2	1,4	0,9	2,04
37	4054	3136	5,3	2,5	4,4	1,3	0,9	-1,07
38	4444	5110	5,4	4,0	4,0	1,8	1,4	1,40
39	4128	3877	5,2	2,6	4,3	1,5	0,9	0,54
40	3611	3222	4,9	2,3	4,1	1,5	0,8	1,12
41	3973	3314	5,0	2,4	4,4	1,4	0,6	0,88
ø	3770	3328	4,96	2,66	4,11	1,51	0,85	1,33

(Durchschnittswerte ohne Einlaufphase)

Bild 22: Minimierung der errechneten mittleren Terminüberschreitung gegenüber Soll mit Hilfe der Prioritätsregel CONWAY

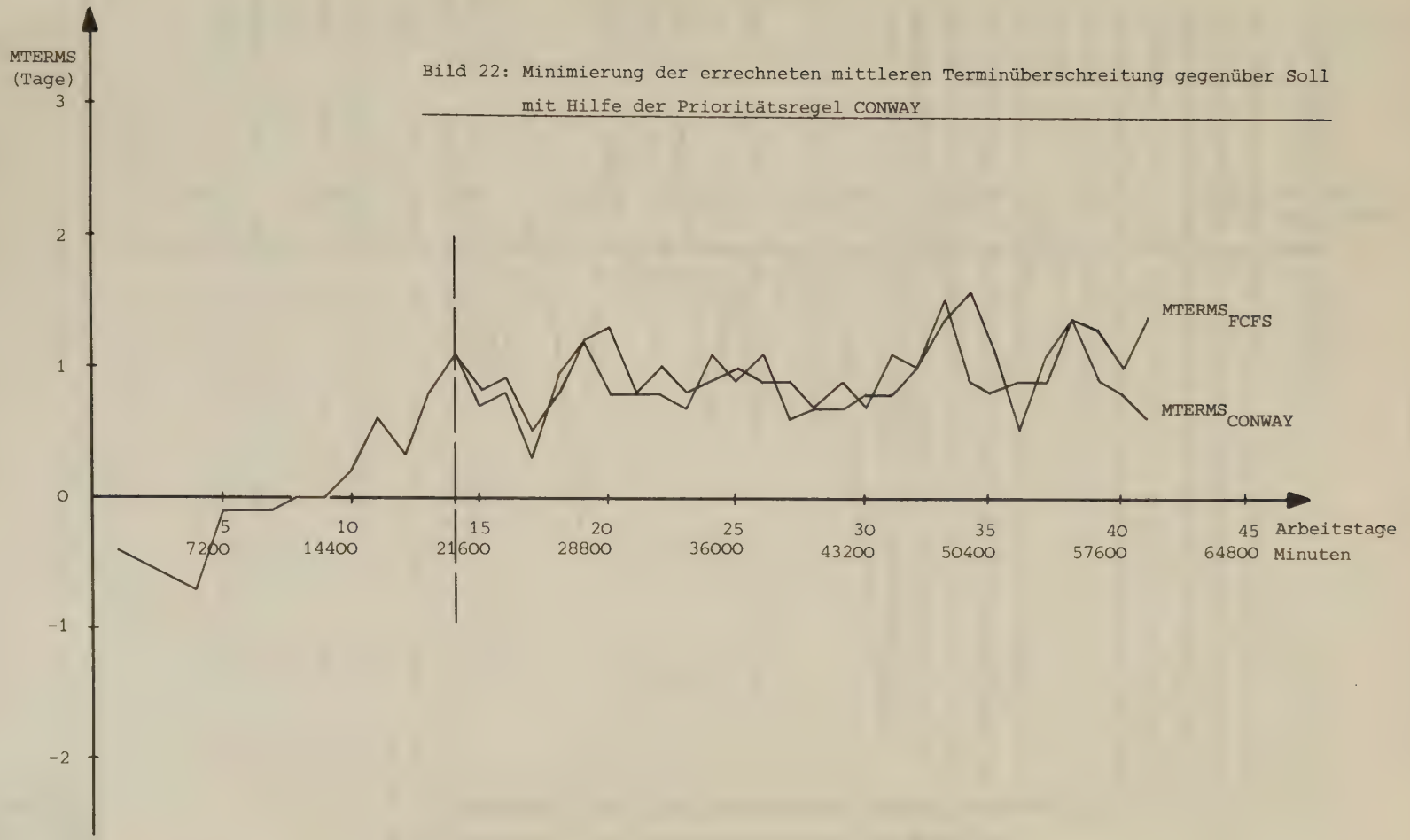
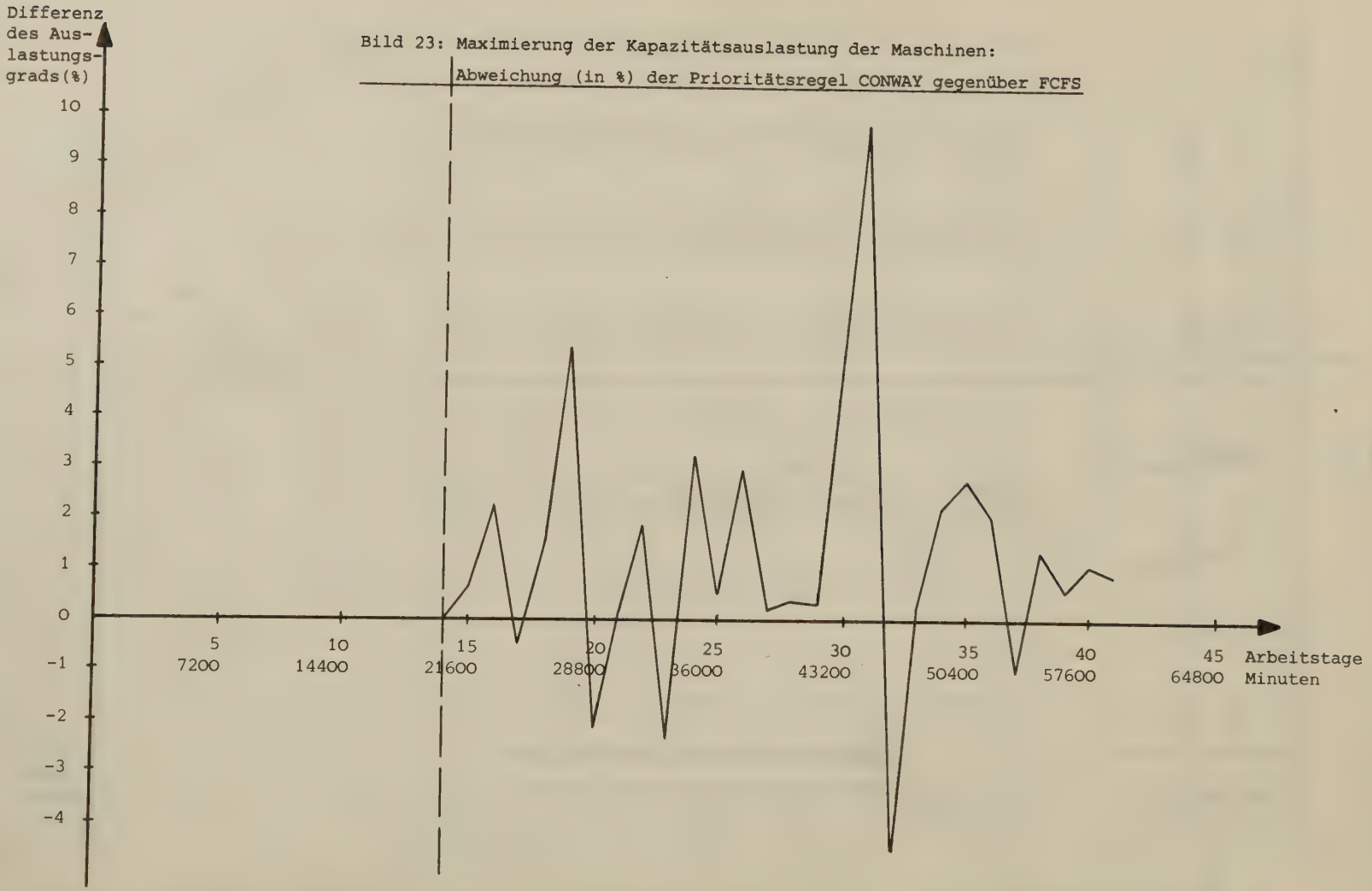


Bild 23: Maximierung der Kapazitätsauslastung der Maschinen:
Abweichung (in %) der Prioritätsregel CONWAY gegenüber FCFS



8.5. Kommentar zu den Resultaten

Die Ergebnisse der Modellvalidierung bestätigen die Richtigkeit der Annahmen für die Modellkomponenten und lassen sehr gute Eigenschaften des Modells zum Zwecke der Terminplanung erkennen. In dieser Hinsicht konnte die gestellte Aufgabe, ein Hilfsmittel zur Reihenfolge- und Terminplanung zur Verfügung zu stellen, voll erfüllt werden.

Die Versuche zum Zwecke der Optimierung verschiedener Parameter konnten mit Ausnahme der Regel KOZ die Erwartungen bezüglich des Ausmasses der Verbesserung der Werte nicht ganz erfüllen. Es seien hier noch einmal die wichtigsten Durchschnittswerte kurz zusammengefasst:

Durchschnittswerte der Auftragsmengen:

Regel	heute	Vortage	gesamt	warten	fertig
FCFS	202	697	899	698	201
KOZ	202	641	843	641	202
SCHLPF	202	699	901	701	200
CONWAY	202	669	871	670	201

Durchschnittswerte der Ergebnisse der betrachteten Parameter:

Regel	MWZT (min)	WSTDEV (min)	MDLZR (Tag)	SDEVR (Tag)	MDLZS (Tag)	SDEVS (Tag)	MTERMS (Tag)	DIFF. Auslastg. FCFS (%)
FCFS	3968	3269	5,12	2,69	4,12	1,53	1,00	0,0
KOZ	3518	3194	4,83	2,62	4,13	1,54	0,70	1,23
SCHLPF	3956	3291	5,11	1,65	4,09	1,50	1,02	1,21
CONWAY	3770	3328	4,96	2,66	4,11	1,51	0,85	1,33

Bei den Durchschnittswerten der Auftragsmengen ist schon der positive Einfluss der Prioritätsregel KOZ erkennbar. Die Anzahl der im Modell befindlichen Aufträge der Vortage sowie die Gesamtzahl der Aufträge erreichen die geringsten Werte. Dies bedeutet, dass der Betrieb mit dieser Regel die Aufträge in optimaler Zeit behandeln kann. Dasselbe Ergebnis zeigen die Durchschnittswerte der betrachteten Parameter. Allerdings ist zu beachten, dass Durchschnittswerte Ergebnisse verfälschen können. Dies gilt besonders für die Differenz der Betriebsauslastung gegenüber der Regel FCFS. Hier erreicht die Regel CONWAY an bestimmten Arbeitstagen Auslastungsverbesserungen bis zu 10 %, denen allerdings auch Auslastungsverschlechterungen an anderen Arbeitstagen gegenüberstehen.

Die Ergebnisse der Optimierungsversuche werden in der Textillohnveredlung durch 2 Gegebenheiten stark beeinflusst:

- Einzel-Aufträge müssen zu Grosspartien zusammengenäht werden
- Es existieren prozessbedingte Prioritätsregeln

Diese Umstände, die schon in früheren Abschnitten dargelegt wurden, vermindern die Möglichkeiten des Einsatzes von vorzugebenden Prioritätsregeln, wobei jedoch die Ergebnisse,je nach Art eines Textillohnveredlungsbetriebes, nach Grösse der Kundenaufträge und der Anzahl unveränderbarer Prioritätsregeln bei Prozessen schwanken können. Es sind deshalb bei anderen Betriebsbedingungen sicherlich auch bessere Optimierungsergebnisse erzielbar.

Schliesslich muss noch darauf hingewiesen werden, dass nur einfache Prioritätsregeln eine Chance haben, in der Praxis angewandt zu werden. Komplizierte Regeln wie etwa MINSOP oder CONWAY stossen bei der Anwendung auf beträchtliche Schwierigkeiten, da praktisch alle vor den Maschinengruppen wartenden Grosspartien wieder aufgetrennt werden müssten, um dann nach den komplizierten Kriterien dieser Regeln wieder zusammengenäht zu werden. Unter diesem Aspekt erscheinen einfache Regeln wie die der kürzesten Operationszeit (KOZ) als besonders geeignet.

9. Schlussbetrachtung

Im Laufe dieser Arbeit hat sich als wichtigstes Ergebnis herauskristallisiert, dass die normalerweise in einem Textillohnveredlungsbetrieb angewandte Prioritätsregel "First Come, First Served" (FCFS) im Sinne einer möglichst kurzen mittleren Durchlaufzeit der Aufträge zu keinen guten Ergebnissen führt. Enttäuscht haben im praktischen Test auch terminorientierte und kombinierte Regeln, so dass als eigentliche Praxisregel, die gegenüber FCFS deutliche Verbesserungen in der Zeitökonomie der Auftragsreihenfolgen bringt, nur die Regel "Kürzeste Operationszeit" (KOZ) empfohlen werden kann.

Diese Regel scheint auch tatsächlich anwendbar zu sein, wenn bei der Zusammenstellung der Aufträge auf die Grösse der zu bearbeitenden Aufträge Rücksicht genommen wird. Allerdings ist nicht zu übersehen, dass auch dieser Regel gewisse Nachteile anhaften. Besonders ist hier die Neigung von Kunden zu erwähnen, es als selbstverständlich anzusehen, dass Grossaufträge bevorzugt behandelt werden. Dieser Beschleunigung von Grosspartien arbeitet die Regel KOZ entgegen, senkt aber erheblich die mittlere Durchlaufzeit aller Aufträge. Dies bedeutet, dass die Regel KOZ nur je nach Marktsituation des betreffenden Unternehmens einzusetzen ist.

Des weiteren sind noch einige Bemerkungen über den Einführungsaufwand anzubringen.

Zu unterscheiden sind folgende Aufwendungen:

- Beschaffungs- bzw. Erweiterungsaufwand für das Computersystem
- Implementationsaufwand des Simulationssystems SIMTEX
- Organisatorischer Aufwand im Betrieb

Die Aufwendungen für die Beschaffung bzw. Erweiterung einer Minicomputer-Anlage können nicht näher spezifiziert werden, da je nach Unternehmung zu verschiedene Ausgangsbedingungen gegeben sind. Diese können vom Nichtvorhandensein einer EDVA bis zum komplett ausgebauten System, das keinerlei Hardware-Investitionen für die Implementation des Modells SIMTEX erforderlich macht, reichen. Für die Implementation des vorgestellten Software-Pakets ist von der Software-Seite nur ein leistungsfähiger FORTRAN IV Compiler erforderlich. Der dazugehörige Linking-Loader sollte eine Overlay-Struktur für Subprogramme besitzen, um den notwendigen Zentralspeicherbedarf in Grenzen halten zu können. Von Vorteil ist das Vorhandensein eines Batch-Programmes, welches die automatische Verarbeitung mehrerer simulierter Arbeitstage ohne Operator-Eingriff ermöglicht.

Der organisatorische Aufwand im Betrieb erstreckt sich im wesentlichen auf die Mitarbeiterschulung. Hier muss erreicht werden, dass bei der Wareneinteilung für die Produktionsreihenfolge, mit Ausnahme von Sonderfällen, auf die eingesetzte Prioritätsregel Rücksicht genommen wird und die Aufträge gemäss dieser Regel zusammengenäht werden. So ist es denkbar, mit Hilfe des Simulationsmodells Nählisten mit der richtigen Reihenfolgeanordnung der Aufträge zu erstellen, die dann als Organisationsanordnung für die Mitarbeiter dienen.

Es erscheint angebracht, in diesen abschliessenden Bemerkungen noch auf die Entwicklungsmöglichkeiten des Modells der Textillohnveredlung hinzuweisen.

Die Vorstellung für eine Terminplanung mitttels eines Simulationsmodells ging davon aus, dass täglich ein Simulationslauf mit den neu in einem Betrieb angekommenen Aufträgen durchgeführt wird. Terminabweichungen der errechneten Durchlaufzeiten gegenüber den Ist-Werten sind aus den schon erörterten Gründen unvermeidbar. Dies hat zur Folge, dass die über einen längeren

Zeitraum aufsummierten Abweichungen von Zeit zu Zeit durch ein Neu-Einfahren des Modells wieder ausgeschaltet werden müssen. Diese Vorgangsweise hat aber für die Terminplanung den Nachteil, dass, je länger das Modell ohne Korrektur läuft, die Ergebnisse tendenziell ungenauer werden. Dieser Nachteil könnte mit einer sogenannten "Real-Time-Korrektur" ausgeschaltet werden. Allerdings ist eine solche Echtzeit-Variante des Modells nur mit beträchtlichen Investitionen zu realisieren. So müsste bei jeder wichtigeren Maschinengruppe ein Dateneingabe-Terminal installiert werden, in das jeweils die Auftragsnummern sowie die Uhrzeiten der ankommenden Aufträge eingegeben werden könnten. Das mit Hilfe eines Echtzeit-Betriebssystems laufende Modell müsste nun permanent die gegenüber den Ist-Zeiten errechneten Parameter korrigieren und daraus folgende Fertigstellungstermine neu berechnen. So könnten über Bildschirme die jeweils aktuellsten Fertigstellungstermine abgelesen und den Kunden bei Bedarf sofort mitgeteilt werden. Mit einer solchen Vorgangsweise sollte eine optimale Terminplanung für Textillohnveredlungsbetriebe in Zukunft realisierbar sein.

C. Anhang

Simulationssystem SIMTEX:
Definition von Programmvariablen und Dateien
Flussdiagramme

Textiltechnisches Glossar

Literaturverzeichnis

DEFINITION DER WICHTIGSTEN PROGRAMMVARIABLEN UND DATEIEN

SPEICHERRESIDENTE PROGRAMMVARIABLE:

1. COMMON /IDEF/: FELDER DER EREIGNIS- UND AUFTRAGSLISTEN

FELDNAME	DIMENSION	BEDEUTUNG
JEVT1	300	MODELLZEIT
JEVT2	300	EREIGNISART
JEVT3	300	AUFTRAGS- BZW. MASCHINENGRUPPENNUMMER
JOBK1	1300	AUFTRAGSNUMMERNLISTE

2. COMMON /IDEF2/: DEFINITIONEN VON SATZLAENGEN, ZEIT- UND EREIGNISSTEUERUNG UND HILFSVARIABLE

FELDNAME	DIMENSION	BEDEUTUNG
LRJOB	1	LAENGE DES AUFTRAGSRECORDS
LRKUE	1	LAENGE DER MASCHINENWARTESCHLANGE
LRMACH	1	LAENGE DES MASCHINENRECORDS
JELMAX	1	MAX. LAENGE DER EREIGNISLISTE
JOBMAX	1	MAX. ANZAHL AUFTRAGSNUMMERN
MGMAX	1	MAX. ANZAHL MASCHINENGRUPPEN
LDMAX	1	MAX. ANZAHL ZU DURCHLAUFENDER MASCHINENGRUPPEN PRO AUFTRAG
KLOCK	1	LAUFENDE MODELLZEIT
NRREGL	1	NUMMER DER PRIORITAETSREGEL
IANZ	1	ZAEHLER DER ANZAHL AUSSTEHENDER ARBEITSGAENGE
LP	1	DRUCKOPTION
KEND	1	ENDZEIT FUER SIMULATION
KEND20	1	VERGLEICHSWERT ZUR ENDZEIT
J	1	ZEILENPOINTER DER EREIGNISLISTE
LRBUFF	1	MAX. LAENGE DES MASCHINENPUFFERS
LMNR	1	LAUFENDE MASCHINENNUMMER IN GRUPPE
JELFIN	1	LAUFENDE LAENGE DER EREIGNISLISTE
LRSTO	1	MAX. SPEICHERFASSUNGSVERMOEGEN
LRVER	1	MAX. FASSUNGSVERMOEGEN EINER VERWEILSTATION
JNR	1	LAUFENDE AUFTRAGSNUMMER
KUEANZ	1	ANZAHL AUFTRAEGE IN WARTESCHLANGE
JOVER	1	WARTESCHLANGENUEBERLAUFANZEIGE

DATEIEN

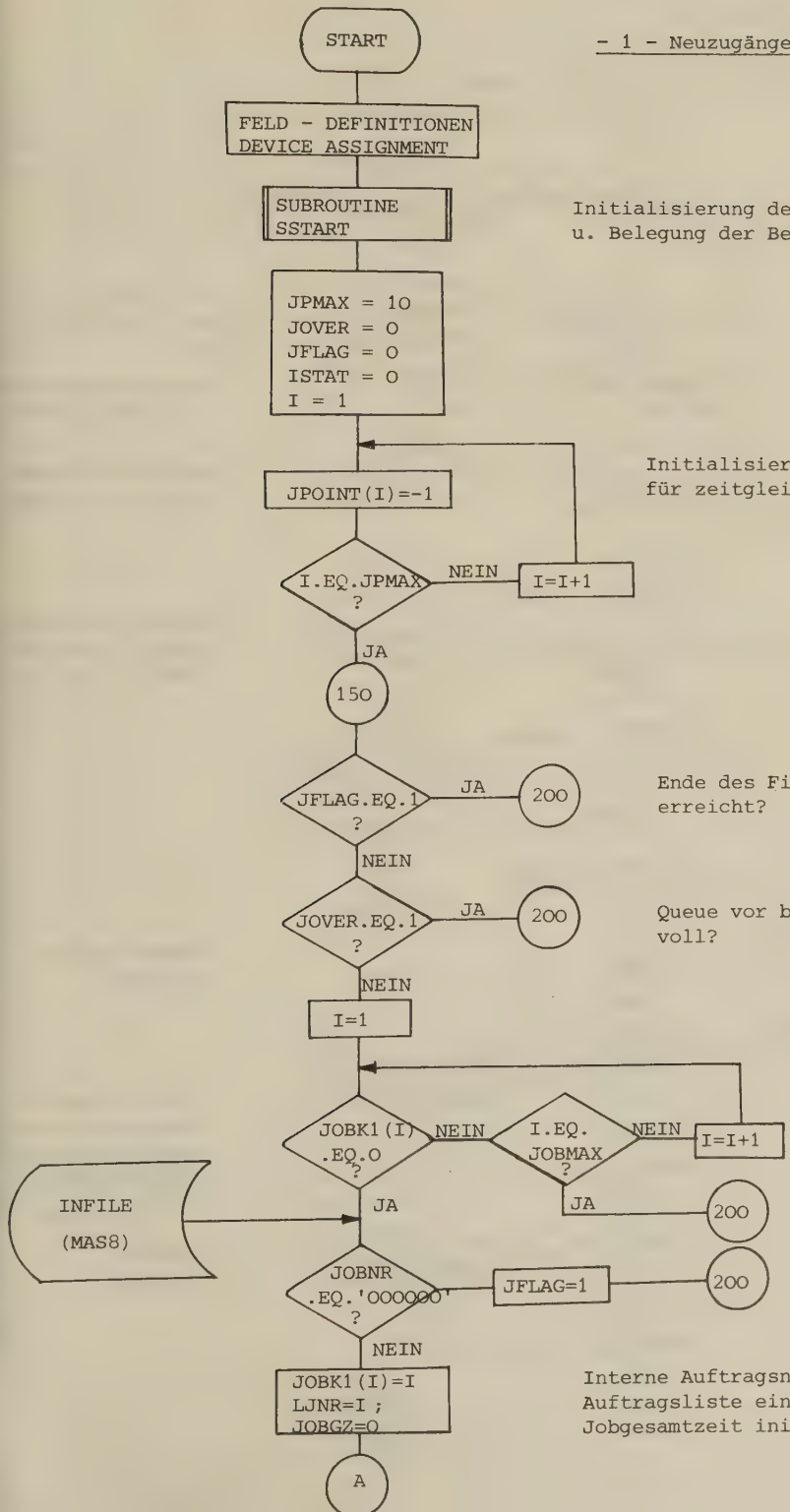
1. COMMON /JREC/: AUFTRAGSRECORD

FELDNAME	DIMENSION	BEDEUTUNG
JOBNR	1	AUFTRAGSNUMMER
JOBZST	1	MASCHINENGRUPPENNUMMER IN DER SICH EIN AUFTRAG GERADE BEFINDET
JOBZV	1	ZEITVERBRAUCH DES AUFTRAGS IN DIESER MASCHINENGRUPPE
JOBGZV	1	GESAMTE BISHER VERBRAUCHTE MASCHINENZEIT EINES AUFTRAGES
LJNR	1	LAUFENDE AUFTRAGSNUMMER
JOBEZ	1	MODELLEINTRITTSZEIT DES AUFTRAGS
JOBSZ	1	VORGEGEBENE SOLLZEIT DES AUFTRAGS
JOBAZ	1	MODELLABTRITTSZEIT DES AUFTRAGS

ITAG	1	TAG
IMON	1	MONAT DATUM DES AUFTRAGS
JAHR	1	JAHR
INTART	1	INTERNE ARTIKELNUMMER
NUMART	1	ARTIKELNUMMER
MENGE	1	AUFTRAGSGROESSE
EINHT	1	GROESSENEINHEIT
KG	1	AUFTRAGSGEWICHT
IBREIT	1	AUFTRAGSBREITE
IPRIO	1	PRIORITAET DES AUFTRAGS
MGESZT	1	AUFSUMMIERTE MASCHINENGESAMTZEIT EINES AUFTRAGS
JOBGZ	1	GESAMTVERWEILZEIT EINES AUFTRAGS IM BETRIEB
IFERTIG	1	ERRECHNETER FERTIGSTELLUNGSTERMIN
JOBMFG	25	MASCHINENFOLGE EINES AUFTRAGS
JOBMDZ	25	MITTLERE DURCHLAUFZEITEN AUF DEN MASCHINEN

2. COMMON /MREC/: MASCHINENGRUPPENRECORD

FELDNAME	DIMENSION	BESCHREIBUNG
MGNR	1	MASCHINENGRUPPENNUMMER
MAMAX	1	MAX. MASCHINENANZAHL PRO GRUPPE
JSPROZ	1	WARENSAMMELPROZESS ?
ISTARTZ	1	MASCHINENGRUPPENSTARTZEIT
IENDZ	1	MASCHINENGRUPPENENDZEIT (WIRD UMGESPEICHERT VON IENDZ1 UND IENDZ2)
IENDZ1	1	MASCHINENGRUPPENENDZEIT 1
IENDZ2	1	MASCHINENGRUPPENENDZEIT 2
NRPRIO	1	NUMMER DER MASCHINENGEBUNDENEN PRIORITAETSREGEL
MOS	1	MASCHINENTYP (MASCHINE, SPEICHER ECT.)
MINPRO	1	MIN. BELEGUNGSPROZENTSATZ FUER START
DIM	1	MASCHINENRESTRIKTION GEWICHT OD. BREITE
NVJOB	1	ANZAHL VON DIESER MASCHINENGRUPPE VERARBEITETER AUFTRAEGE
MSTRTZ	1	STARTZEIT DES ERSTEN AUFTRAGS
MSCHLZ	1	ENDZEIT DES LETZTEN AUFTRAGS
MWSGEW	1	GEWICHT DER AUFTRAEGE IN WARTESCHLANGE
MBROKG	15	RESTRIKTIONEN DER EINZELNEN MASCHINEN
JNRMGR	15	AUFTRAGSNUMMERN DIE SICH AUF MASCHINEN BEFINDEN
MAFSZT	15	MASCHINENFERTIGSTELLUNGSZEIT DER AUFTRAEGE
MALGZT	15	MASCHINENLAUFGESAMTZEIT
NBUFF	160	MASCHINENPUFFER
IQUEUE	250	MASCHINENGRUPPENWARTESCHLANGE
MGNAME	20	MASCHINENGRUPPENNAME
FUER SPEICHER:		
JNRSTO	100	AUFTRAGSNUMMERN IM SPEICHER
ISABZT	100	ABTRITTSZEIT DER AUFTRAEGE AUS SP.
JSTGEW	1	GEWICHT DER AUFTRAEGE IM SPEICHER
FUER VERWEILSTATION:		
JNRVER	235	AUFTRAGSNUMMERN AUF VERWEILSTATION
IVABZT	235	ABTRITTSZEIT DER AUFTRAEGE AUS VST.



- 1 - Neuzugänge bei T = KLOCK

Initialisierung des Simulationsmodells u. Belegung der Bearbeitungsstellen bei T = 0

Initialisierung des Feldes für zeitgleiche Ereignisse

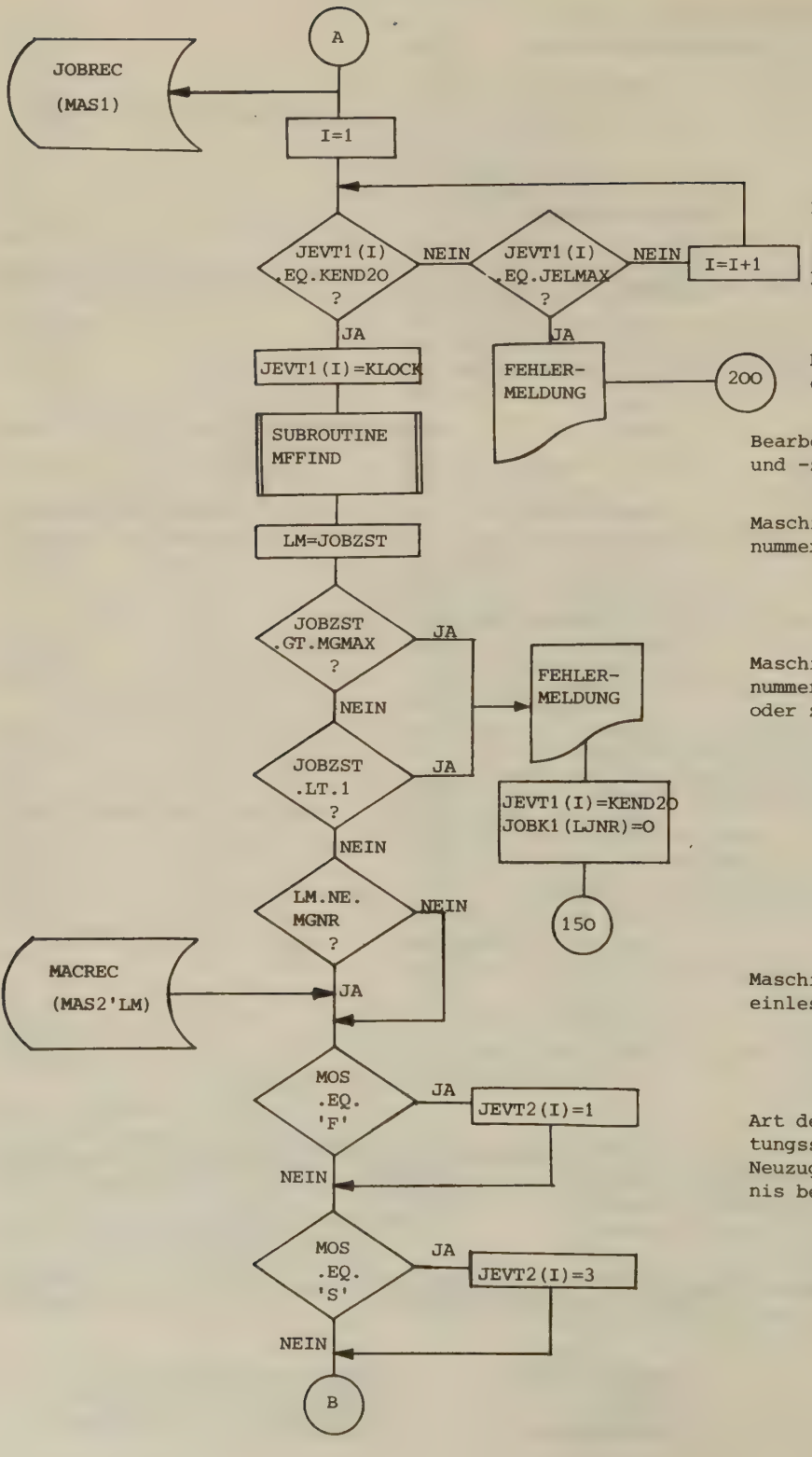
Ende des Files INFILE (MAS8) erreicht?

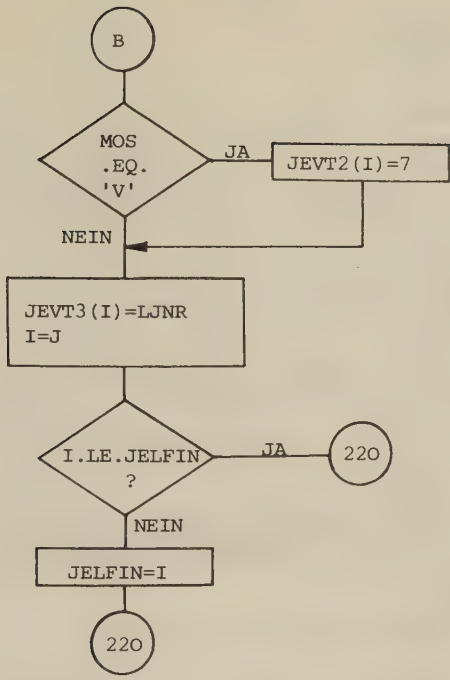
Queue vor betr. Maschine voll?

Freier Platz in Auftragsliste vorhanden?

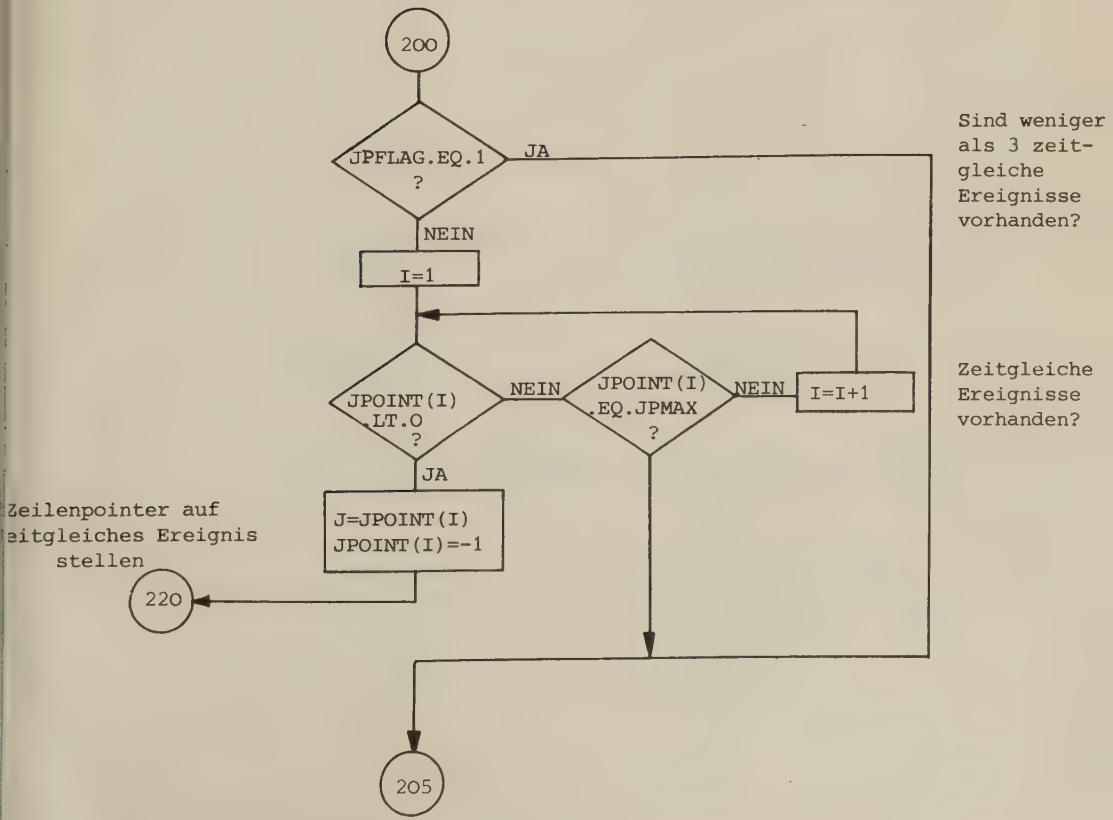
Ende des Files INFILE (MAS8)?

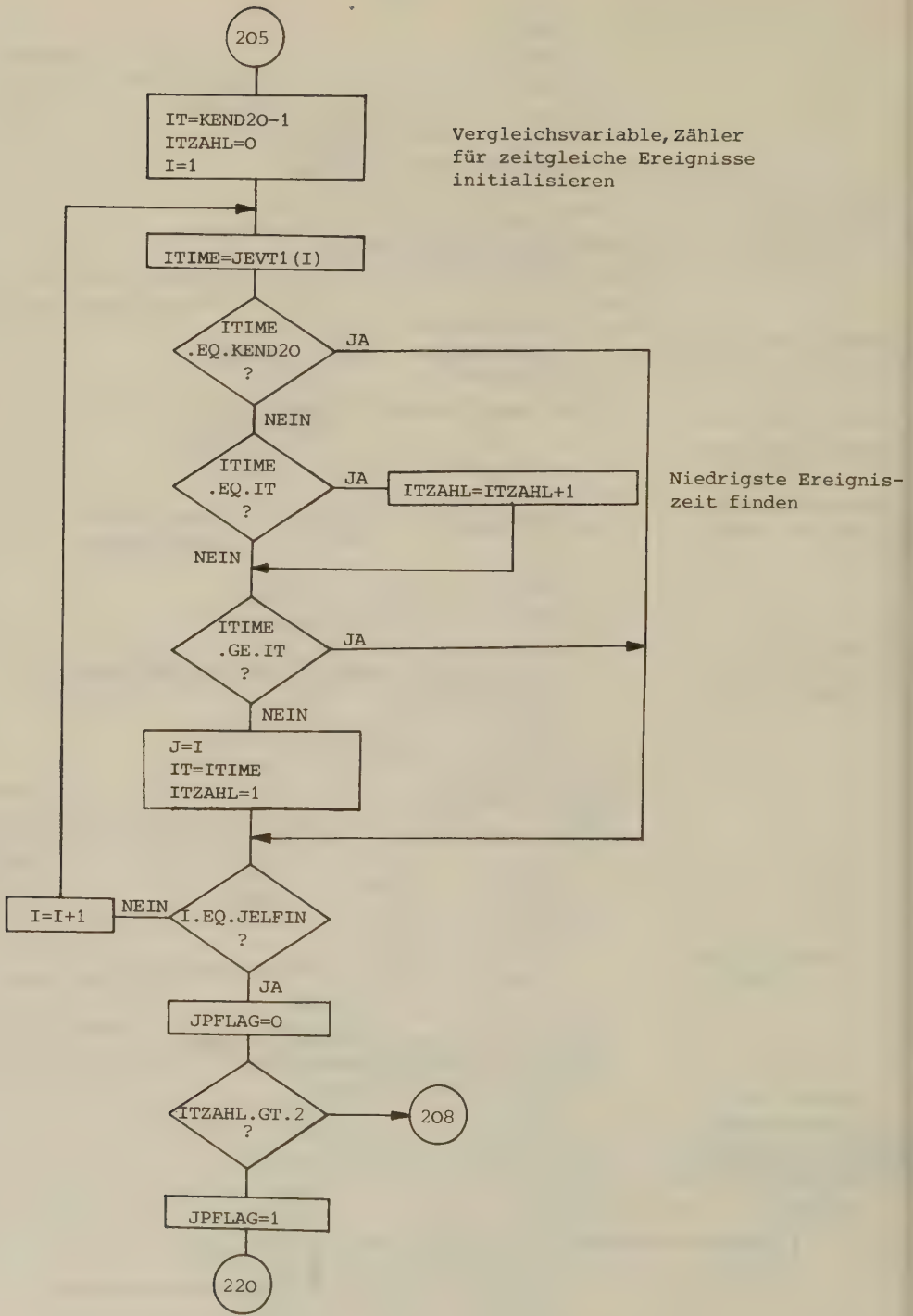
Interne Auftragsnummer in Auftragsliste eintragen und Jobgesamtzeit initialisieren.

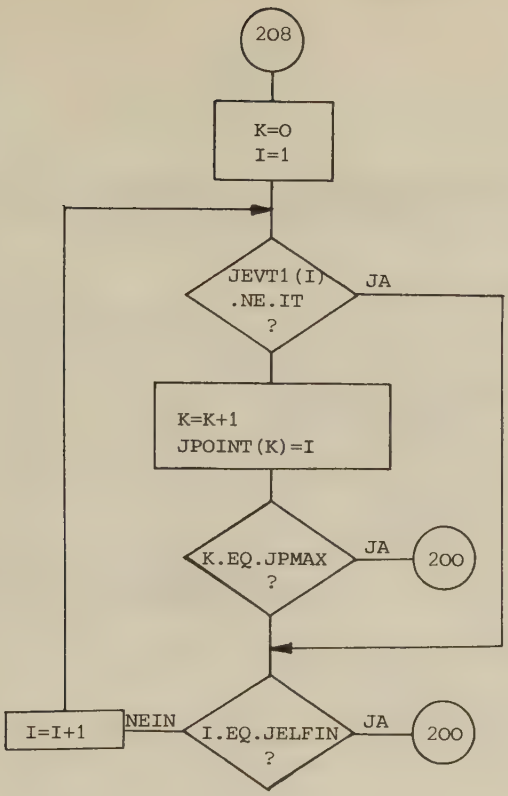

A
JOBREC
(MAS1)
I=1
JEVT1(I)
.EQ.KEND2O
?
NEIN
JEVT1(I)
.EQ.JELMAX
?
NEIN
I=I+1
Freier Platz in Ereignisliste vorhanden?
JA
JA
JEVT1(I)=KLOCK
FEHLER-
MELDUNG
200
Ereigniszeit eintragen
SUBROUTINE
MFFIND
Bearbeitungsstation und -zeit finden
LM=JOBZST
Maschinengruppennummer eintragen
JOBZST
.GT.MGMAX
?
JA
FEHLER-
MELDUNG
NEIN
Maschinengruppennummer zu gross oder zu klein?
JOBZST
.LT.1
?
JA
JEVT1(I)=KEND2O
JOBK1(LJNR)=O
NEIN
LM.NE.
MGNR
?
NEIN
150
MACREC
(MAS2'LM)
JA
Maschinendaten einlesen
MOS
.EQ.
'F'
JA
JEVT2(I)=1
NEIN
Art der Bearbeitungsstation für Neuzugangsereignis bestimmen.
MOS
.EQ.
'S'
JA
JEVT2(I)=3
NEIN
B



- 2 - Suchen der niedrigsten Ereigniszeit

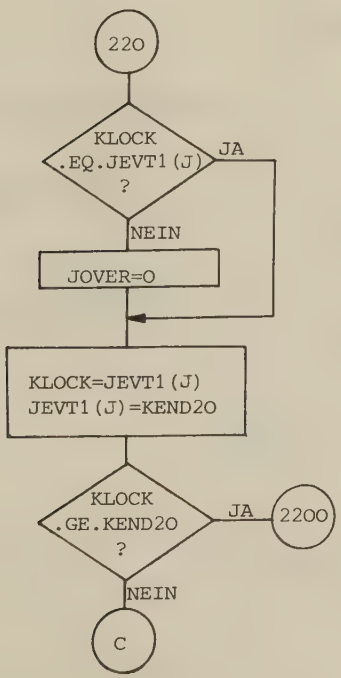



205
IT=KEND20-1
ITZAHL=0
I=1
Vergleichsvariable, Zähler für zeitgleiche Ereignisse initialisieren
ITIME=JEVT1(I)
ITIME .EQ.KEND20 ?
JA
NEIN
ITIME .EQ.IT ?
JA
ITZAHL=ITZAHL+1
Niedrigste Ereigniszeit finden
NEIN
ITIME .GE.IT ?
JA
NEIN
J=I
IT=ITIME
ITZAHL=1
I=I+1
NEIN
I.EQ.JELFIN ?
JA
JPFLAG=0
ITZAHL.GT.2 ?
208
JPFLAG=1
220



Zeitgleiche Ereignisse in betr. Feld eintragen

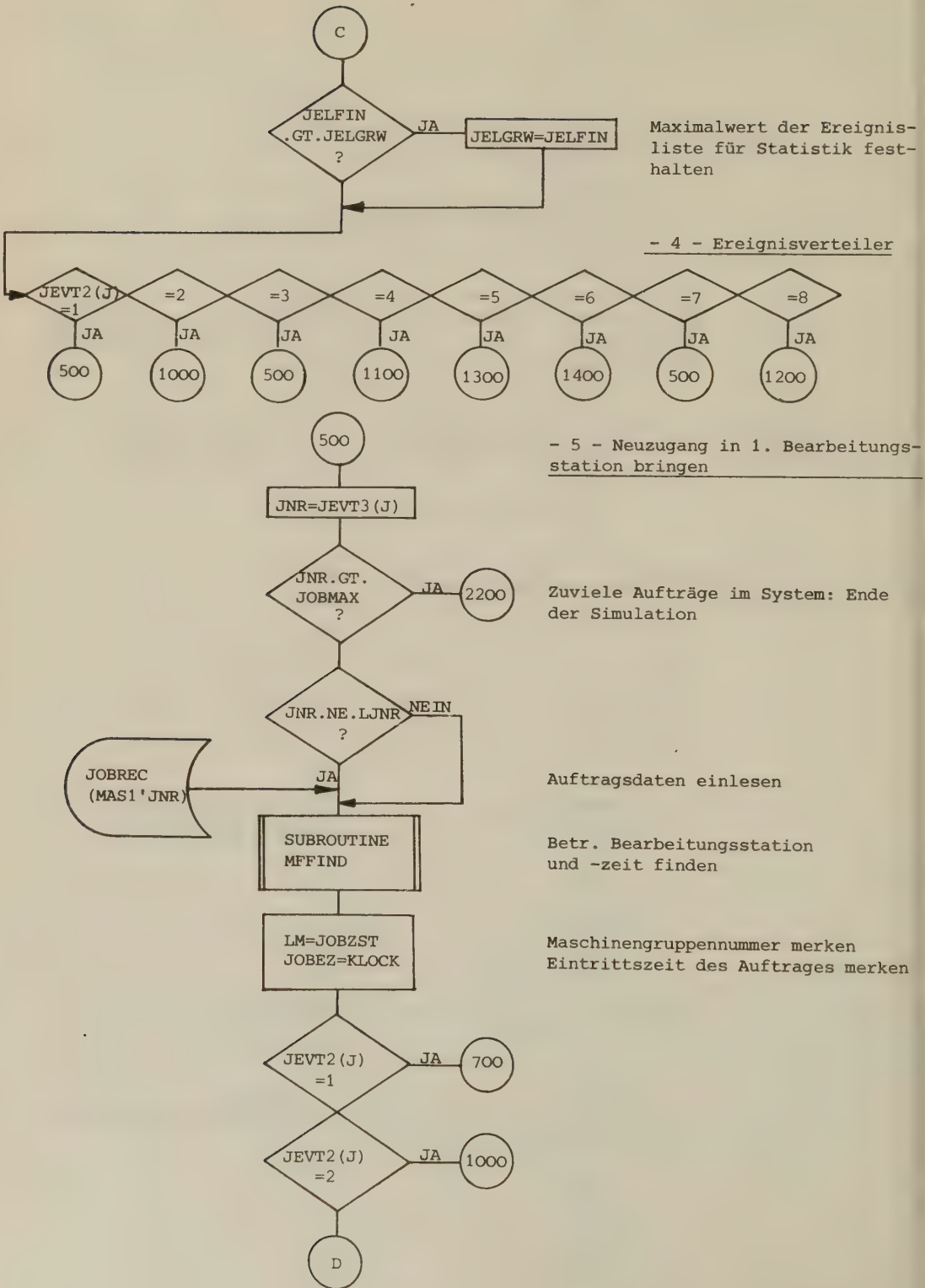
Feld zeitgleicher Ereignisse voll?

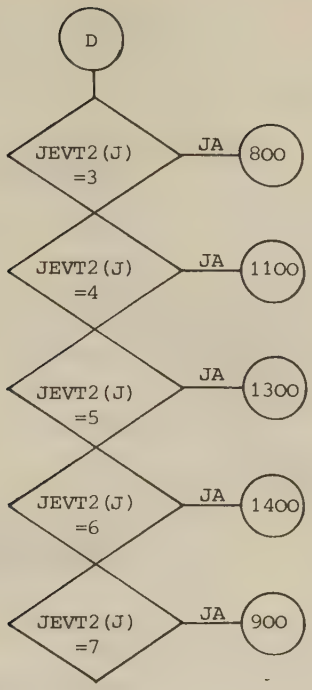


Zeit in Ereignisliste mit gegenwärtiger Modellzeit vergleichen

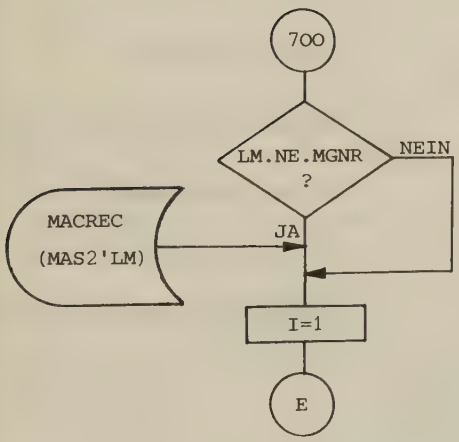
Modellzeit auf Ereigniszeit vorrücken und Zeit aus Ereignisliste löschen

- 3 - Ende der Simulation?


C
JELFIN .GT. JELGRW ?
JA
JELGRW=JELFIN
Maximalwert der Ereignisliste für Statistik festhalten
- 4 - Ereignisverteiler
JEVT2(J) =1
=2
=3
=4
=5
=6
=7
=8
JA
500
1000
500
1100
1300
1400
500
1200
500
- 5 - Neuzugang in 1. Bearbeitungsstation bringen
JNR=JEVT3(J)
JNR.GT. JOBMAX ?
2200
Zuviele Aufträge im System: Ende der Simulation
JNR.NE.LJNR ?
NEIN
JOBREC (MAS1'JNR)
Auftragsdaten einlesen
SUBROUTINE MFFIND
Betr. Bearbeitungsstation und -zeit finden
LM=JOBZST
JOBEZ=KLOCK
Maschinengruppennummer merken
Eintrittszeit des Auftrages merken
JEVT2(J) =1
700
JEVT2(J) =2
1000
D

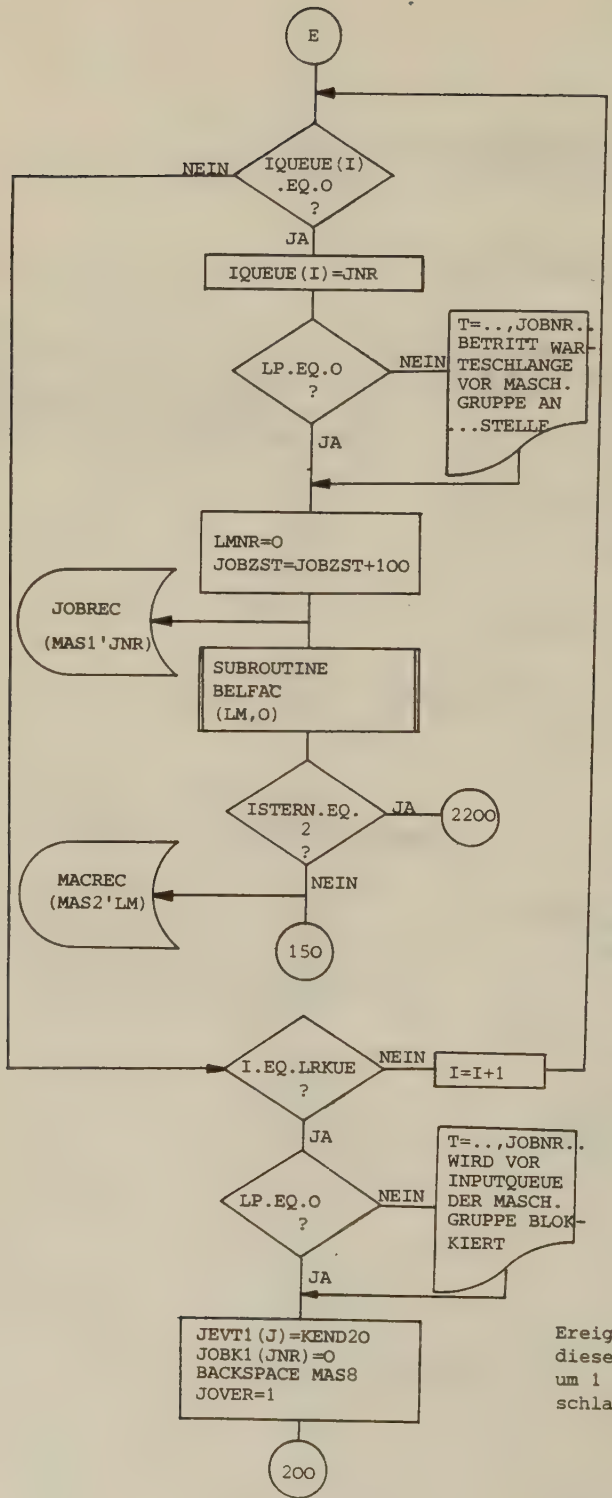


- 6 - Verteiler für Neuzugang in Maschinengruppe, Speicher und Verweilstation



- 7 - Neuzugang in Maschinengruppe

Maschinendaten einlesen



Freier Platz in Warteschlange?

Auftrag in Warteschlange eintragen

Maschinennummer initialisieren
Jobzustand auf "Warten" setzen

Auftragsdaten zurückschreiben

Maschine belegen

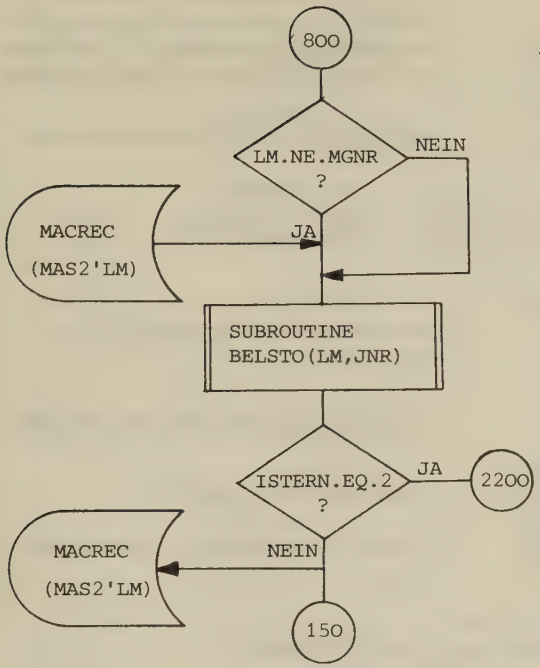
Simulation beendet?

Maschinendaten zurückschreiben

Weitere Neuzugänge?

Ganze Warteschlange durchsucht?

Ereignisliste und Auftragsliste an diesem Platz löschen, Auftragsliste um 1 Record zurücksetzen; Warteschlangenpointer auf "voll" setzen.



- 8 - Neuzugang im Speicher

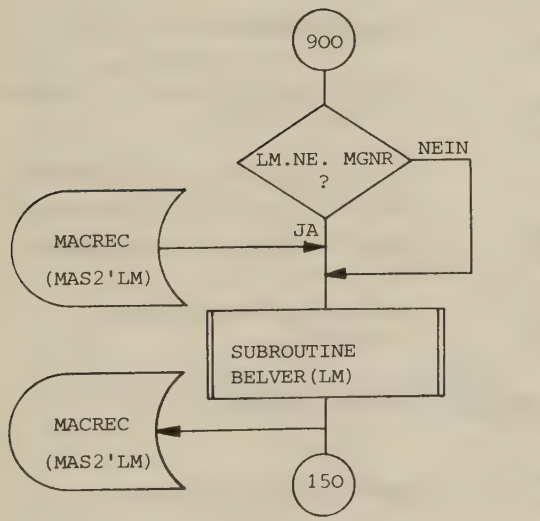
Maschinendaten einlesen

Speicher belegen

Simulationsende

Maschinendaten zurückschreiben

Weitere Neuzugänge



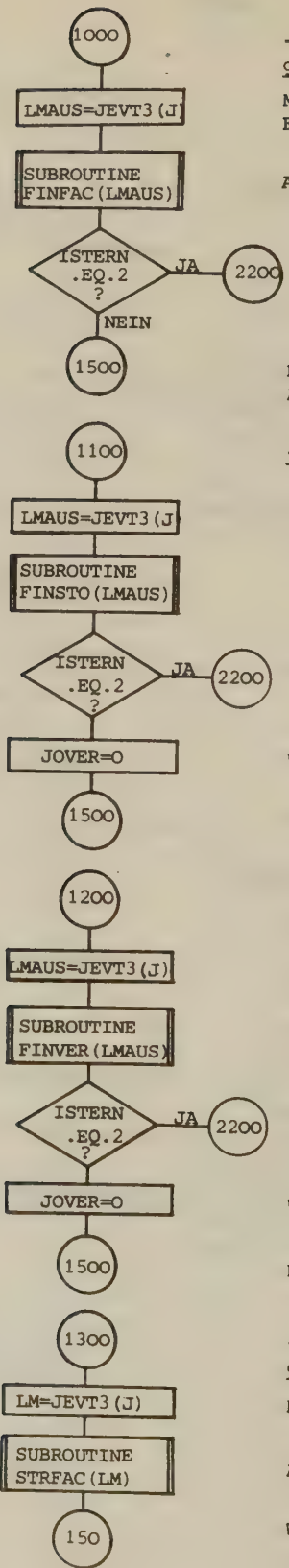
- 9 - Neuzugang in Verweilstation

Maschinendaten einlesen

Verweilstation belegen

Maschinendaten zurückschreiben

Weitere Neuzugänge



- 10 - Fertigstellung in Maschinengruppe

Maschinengruppennummer, in der eine Fertigstellung stattfindet, merken.

Auftrag auf Maschine fertigstellen

Simulationsende ?

Nächste Bearbeitungsstelle des Auftrages finden

- 11 - Fertigstellung im Speicher

Speichernummer merken

Auftrag im Speicher fertigstellen

Simulationsende ?

Warteschlange nicht voll

Nächste Bearbeitungsstelle finden

- 12 - Fertigstellung in Verweilstation

Nummer der Verweilstation merken

Auftrag aus Verweilstation freigeben

Simulationsende?

Warteschlange nicht voll

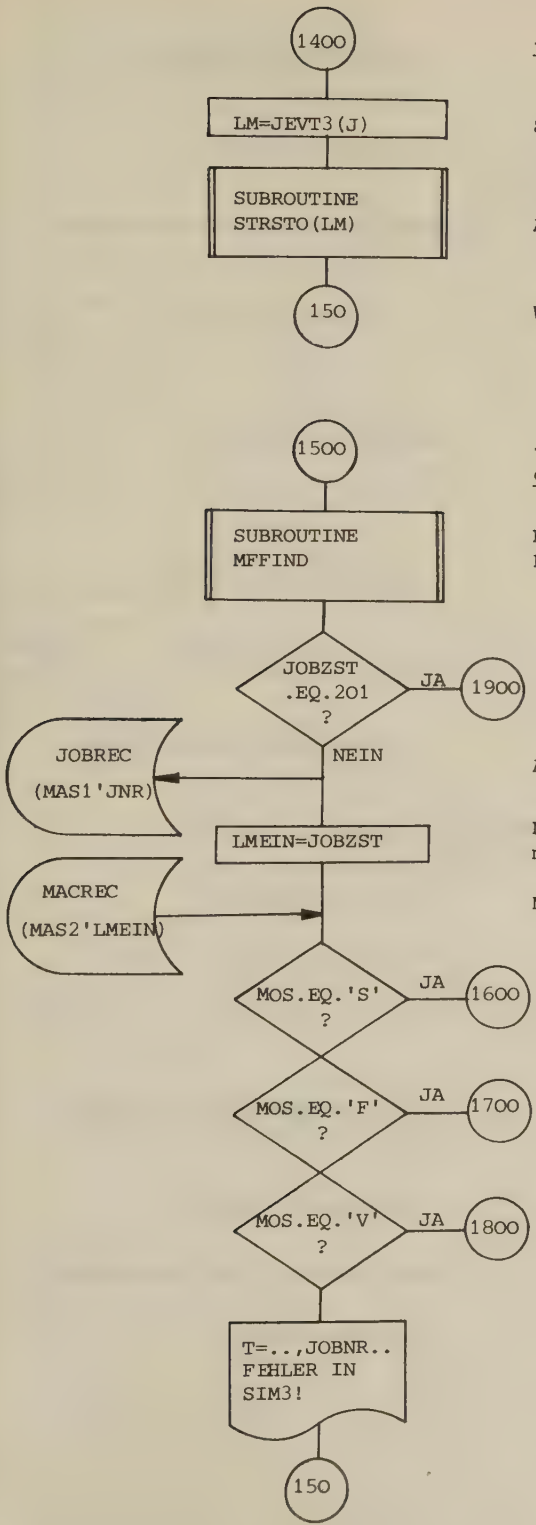
Nächste Bearbeitungsstation finden

- 13 - Startversuch in Maschinengruppe

Maschinengruppennummer merken

Auftrag auf Maschine starten

Weitere Neuzugänge?



- 14 - Startversuch eines Speichers

Speichernummer merken

Auftrag auf Speicher starten

Weitere Neuzugänge?

- 15 - Nächste Bearbeitungsstelle eines Auftrages finden

Nächste Maschinengruppe und Bearbeitungsstelle finden.

Auftrag fertiggestellt?

Auftragsrecord zurückschreiben

Nächste Maschinengruppe merken

Maschinenrecord einlesen

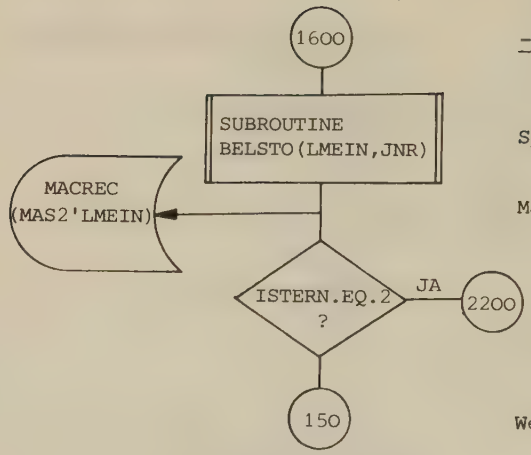
Belege Speicher

Belege Maschine

Belege Verweilstation

Fehlermeldung

Weitere Neuzugänge?



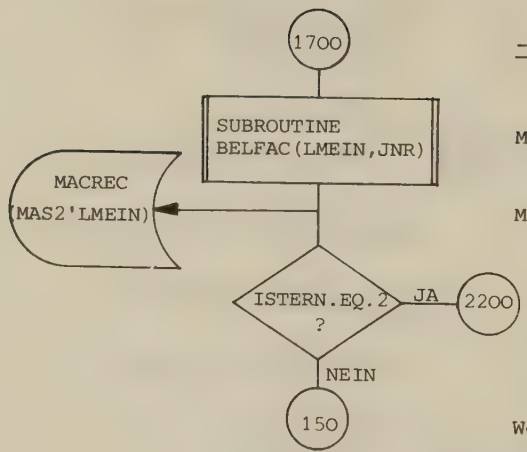
- 16 - Speicher belegen

Speicher belegen

Maschinenrecord zurückschreiben

Simulationsende?

Weitere Neuzugänge?



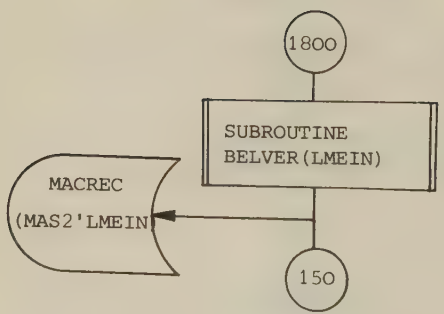
- 17 - Maschine belegen

Maschine belegen

Maschinenrecord zurückschreiben

Simulationsende?

Weitere Neuzugänge?

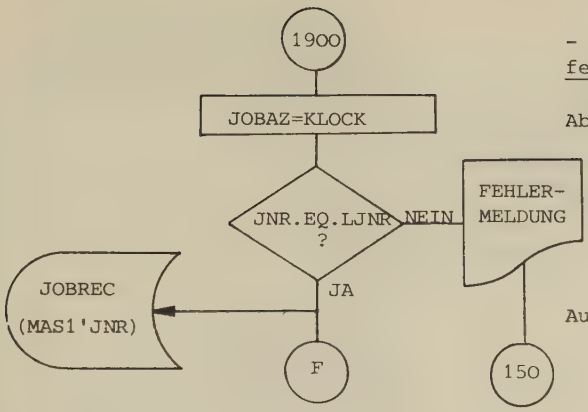


- 18 - Verweilstation belegen

Verweilstation belegen

Maschinenrecord zurückschreiben

Weitere Neuzugänge?

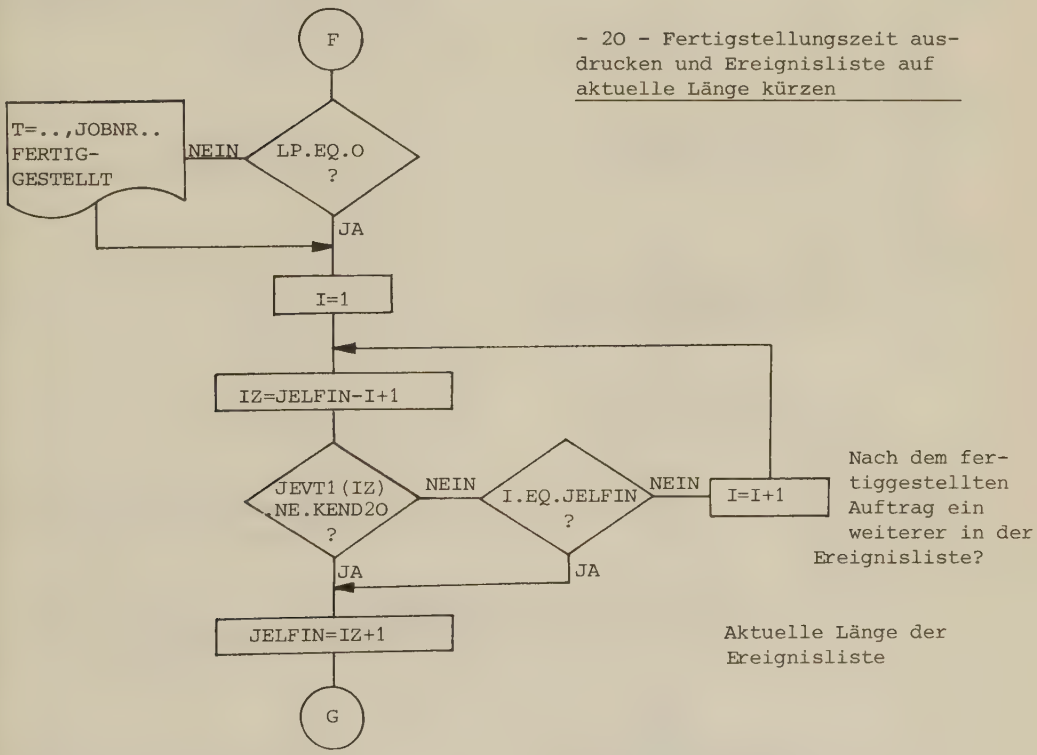


- 19 - Auftragsabtrittszeit festhalten

Abtrittszeit eintragen

Richtigkeit der internen Auftragsnummer überprüfen

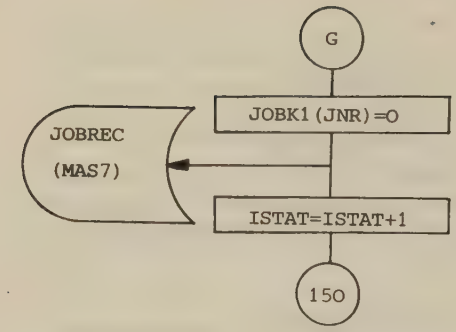
Auftragsrecord zurückschreiben



- 20 - Fertigstellungszeit ausdrucken und Ereignisliste auf aktuelle Länge kürzen

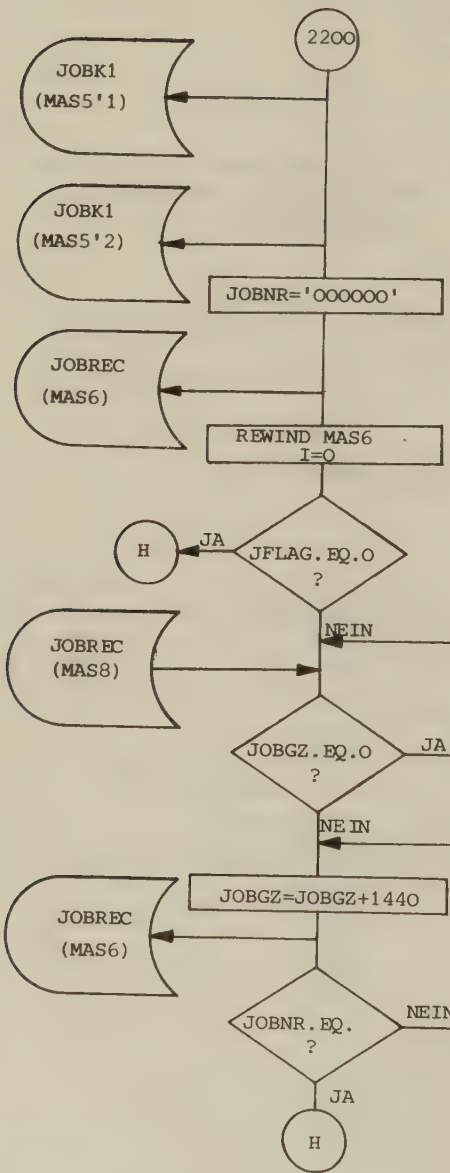
Nach dem fertiggestellten Auftrag ein weiterer in der Ereignisliste?

Aktuelle Länge der Ereignisliste



- 21 - Auftragsnummer aus Auftragsliste streichen und Auftrag in Statistik-File schreiben

Aufträge in Statistik-File zählen



- 22 - Statistiken ausdrucken

Liste der noch nicht fertiggestellten Aufträge für Start des nächsten Tages auf Massenspeicher schreiben.

End of File Kriterium für Auftragsliste

Altes Statistik-File löschen

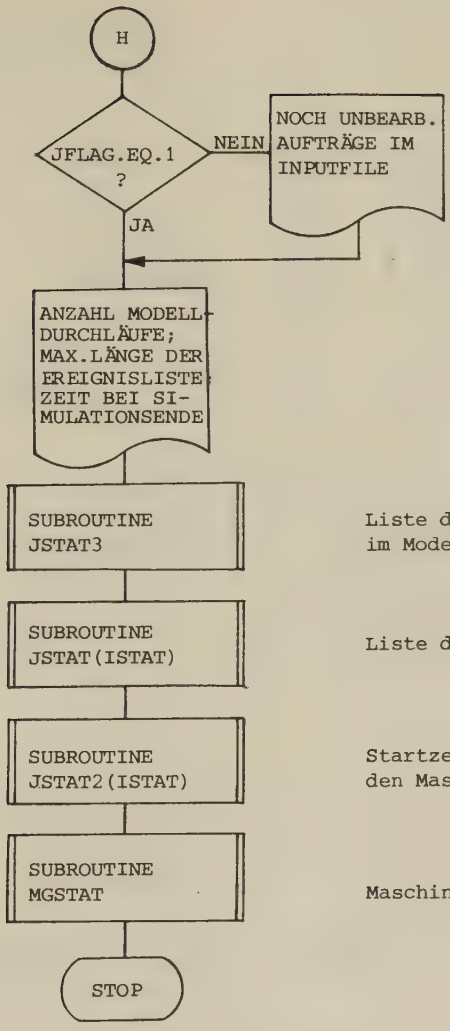
File INFILE leer?

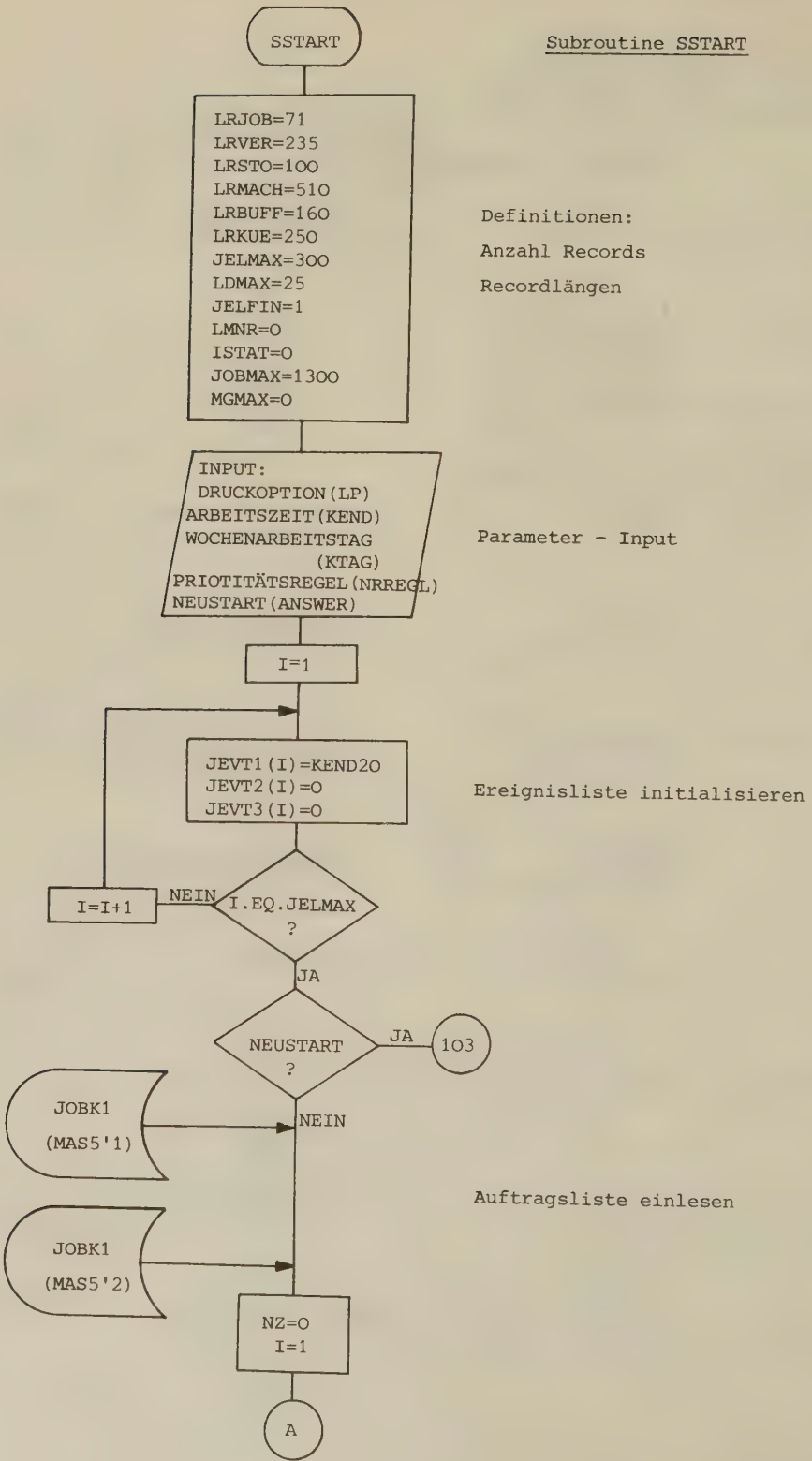
Vor Inputqueue blockierte Aufträge einlesen

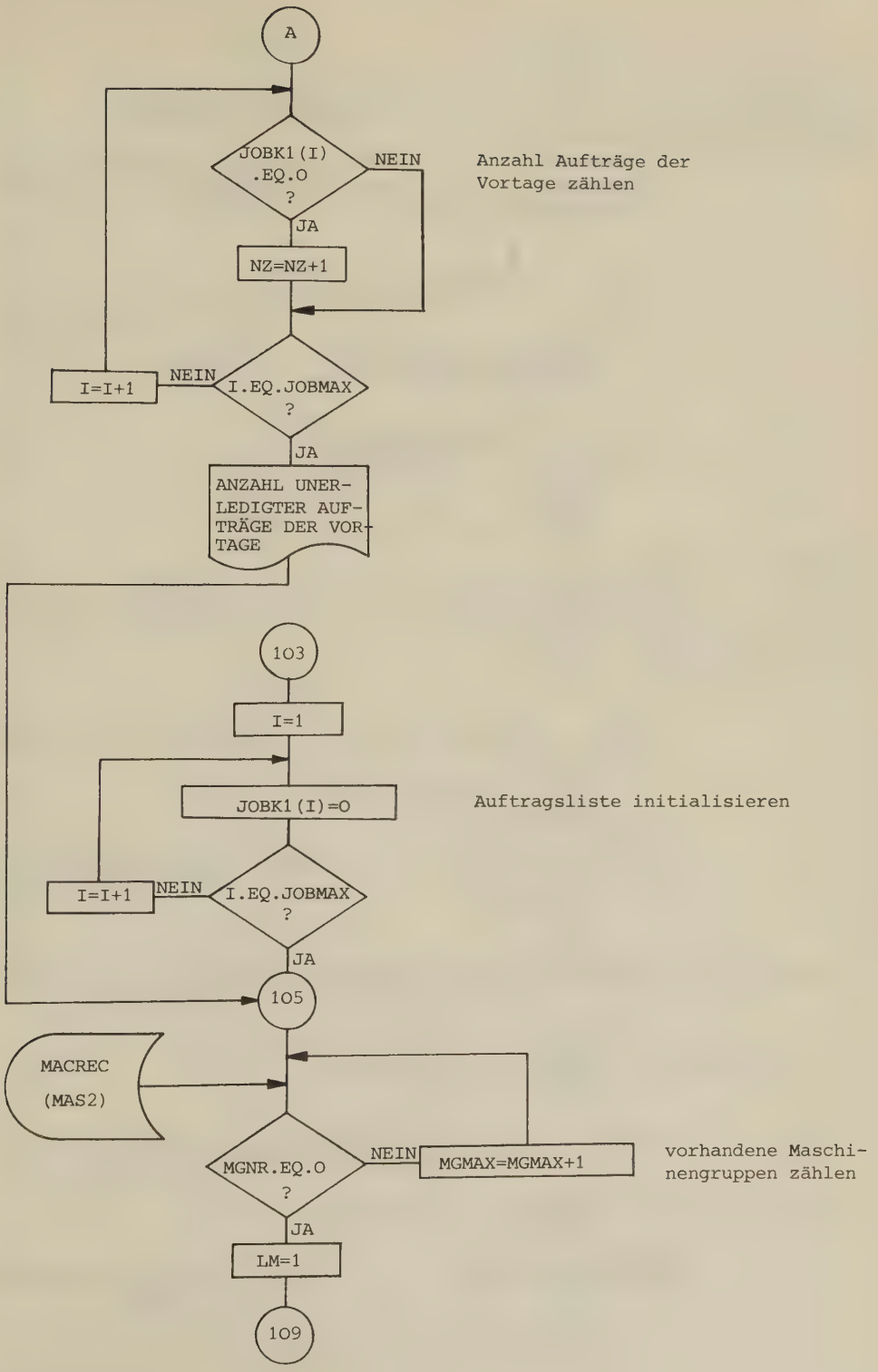
Eintrittezeit von Gesamtzeit abziehen

Gesamtzeit für die Aufträge, die vor Inputqueue blockiert sind, um 1 Tag erhöhen.

File INFILE zu Ende gelesen?


H
JFLAG.EQ.1 ?
NEIN
NOCH UNBEARB. AUFTRÄGE IM INPUTFILE
JA
ANZAHL MODELL-DURCHLÄUFE; MAX.LÄNGE DER EREIGNISLISTE; ZEIT BEI SI-MULATIONSENDE
SUBROUTINE JSTAT3
Liste der unerledigten Aufträge im Modell
SUBROUTINE JSTAT(ISTAT)
Liste der erledigten Aufträge
SUBROUTINE JSTAT2(ISTAT)
Startzeiten der Aufträge auf den Maschinengruppen
SUBROUTINE MGSTAT
Maschinenstatistik
STOP

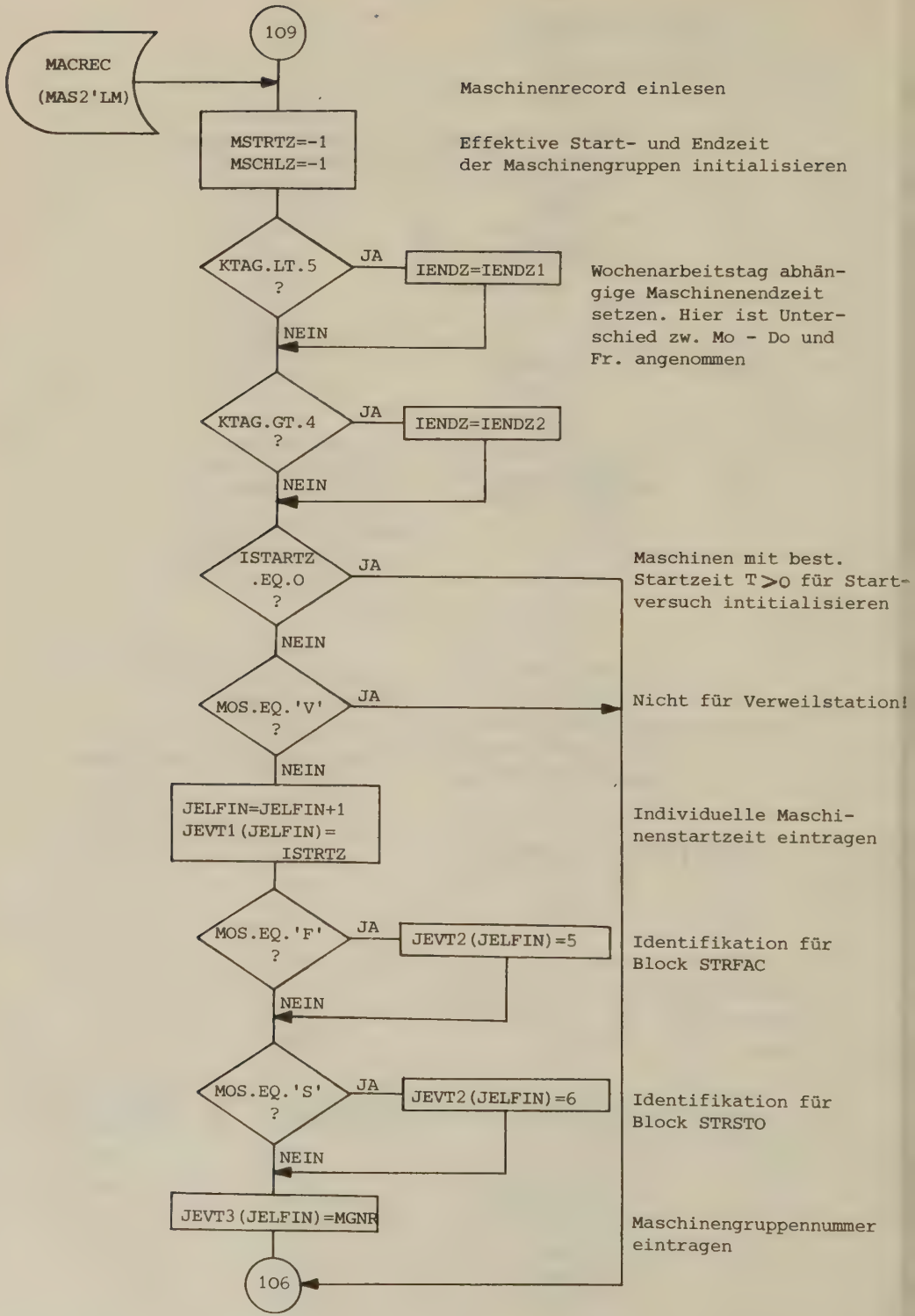

SSTART
Subroutine SSTART
LRJOB=71
LRVER=235
LRSTO=100
LRMACH=510
LRBUFF=160
LRKUE=250
JELMAX=300
LDMAX=25
JELFIN=1
LMNR=0
ISTAT=0
JOBMAX=1300
MGMAX=0
Definitionen:
Anzahl Records
Recordlängen
INPUT:
DRUCKOPTION(LP)
ARBEITSZEIT(KEND)
WOCHENARBEITSTAG
(KTAG)
PRIOTITÄTSREGEL(NRREGL)
NEUSTART(ANSWER)
Parameter - Input
I=1
JEVT1(I)=KEND20
JEVT2(I)=0
JEVT3(I)=0
Ereignisliste initialisieren
I=I+1
NEIN
I.EQ.JELMAX
?
JA
NEUSTART
?
JA
103
JOBK1
(MAS5'1)
NEIN
JOBK1
(MAS5'2)
Auftragsliste einlesen
NZ=0
I=1
A

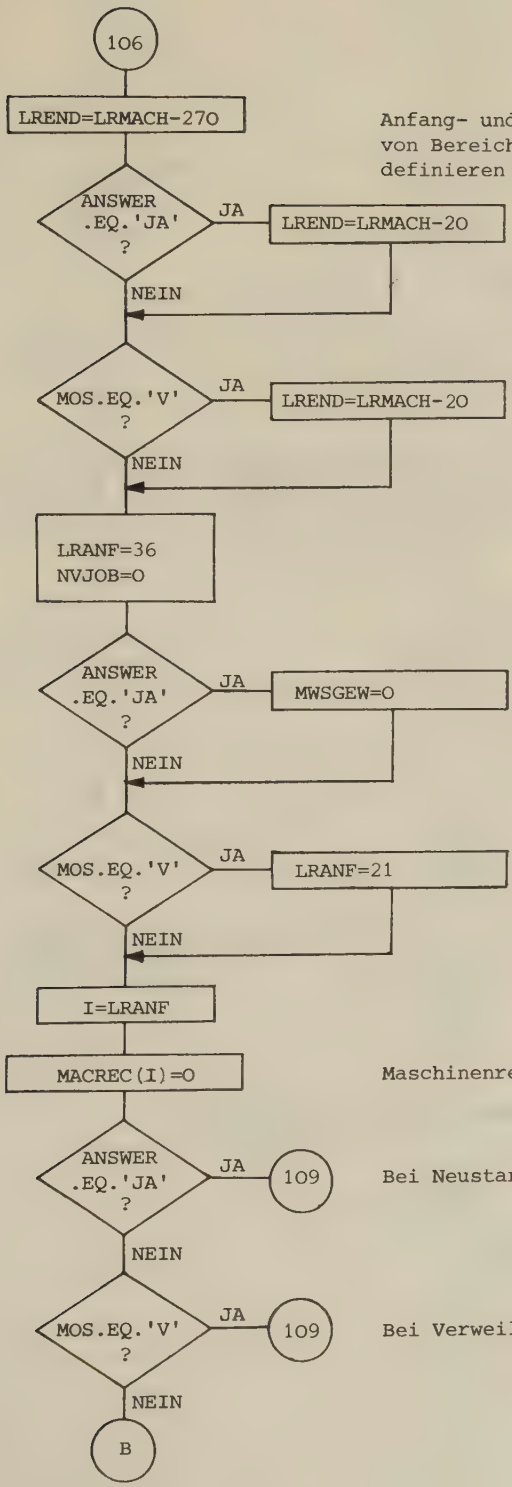


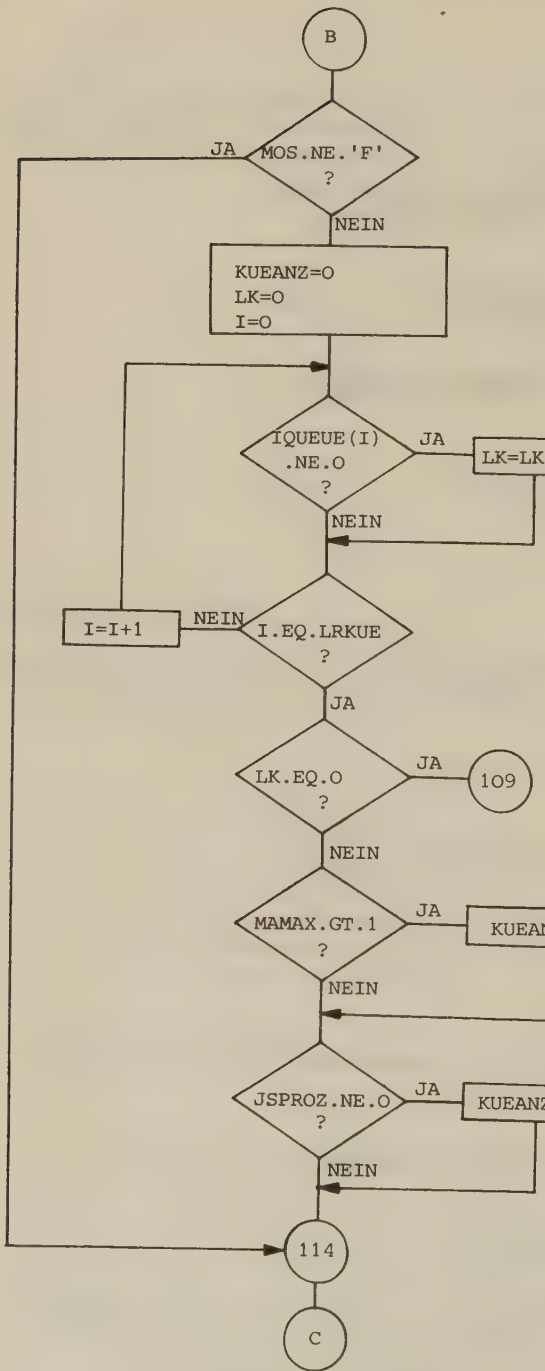
Anzahl Aufträge der Vortage zählen

Auftragsliste initialisieren

vorhandene Maschinengruppen zählen


109
MACREC
(MAS2'LM)
Maschinenrecord einlesen
MSTRTZ=-1
MSCHLZ=-1
Effektive Start- und Endzeit
der Maschinengruppen initialisieren
KTAG.LT.5
?
JA
IENDZ=IENDZ1
Wochenarbeitstag abhängige Maschinenendzeit setzen. Hier ist Unterschied zw. Mo - Do und Fr. angenommen
NEIN
KTAG.GT.4
?
JA
IENDZ=IENDZ2
NEIN
ISTARTZ
.EQ.0
?
JA
Maschinen mit best. Startzeit T>0 für Startversuch intitialisieren
NEIN
MOS.EQ.'V'
?
JA
Nicht für Verweilstation!
NEIN
JELFIN=JELFIN+1
JEVT1(JELFIN)=
ISTRTZ
Individuelle Maschinenstartzeit eintragen
MOS.EQ.'F'
?
JA
JEVT2(JELFIN)=5
Identifikation für Block STRFAC
NEIN
MOS.EQ.'S'
?
JA
JEVT2(JELFIN)=6
Identifikation für Block STRSTO
NEIN
JEVT3(JELFIN)=MGNR
Maschinengruppennummer eintragen
106


106
LREND=LRMACH-270
Anfang- und Endpunkte zum Löschen von Bereichen des Maschinenrecords definieren
ANSWER .EQ.'JA' ?
JA
LREND=LRMACH-20
NEIN
MOS.EQ.'V' ?
JA
LREND=LRMACH-20
NEIN
LRANF=36
NVJOB=0
Anzahl der verarbeiteten Aufträge initialisieren
ANSWER .EQ.'JA' ?
JA
MWSGEW=0
Gewicht für Warensammel-prozess bei Neustart initialisieren
NEIN
MOS.EQ.'V' ?
JA
LRANF=21
NEIN
I=LRANF
MACREC(I)=0
Maschinenrecord initialisieren
ANSWER .EQ.'JA' ?
JA
109
Bei Neustart weitergehen
NEIN
MOS.EQ.'V' ?
JA
109
Bei Verweilstation weitergehen
NEIN
B

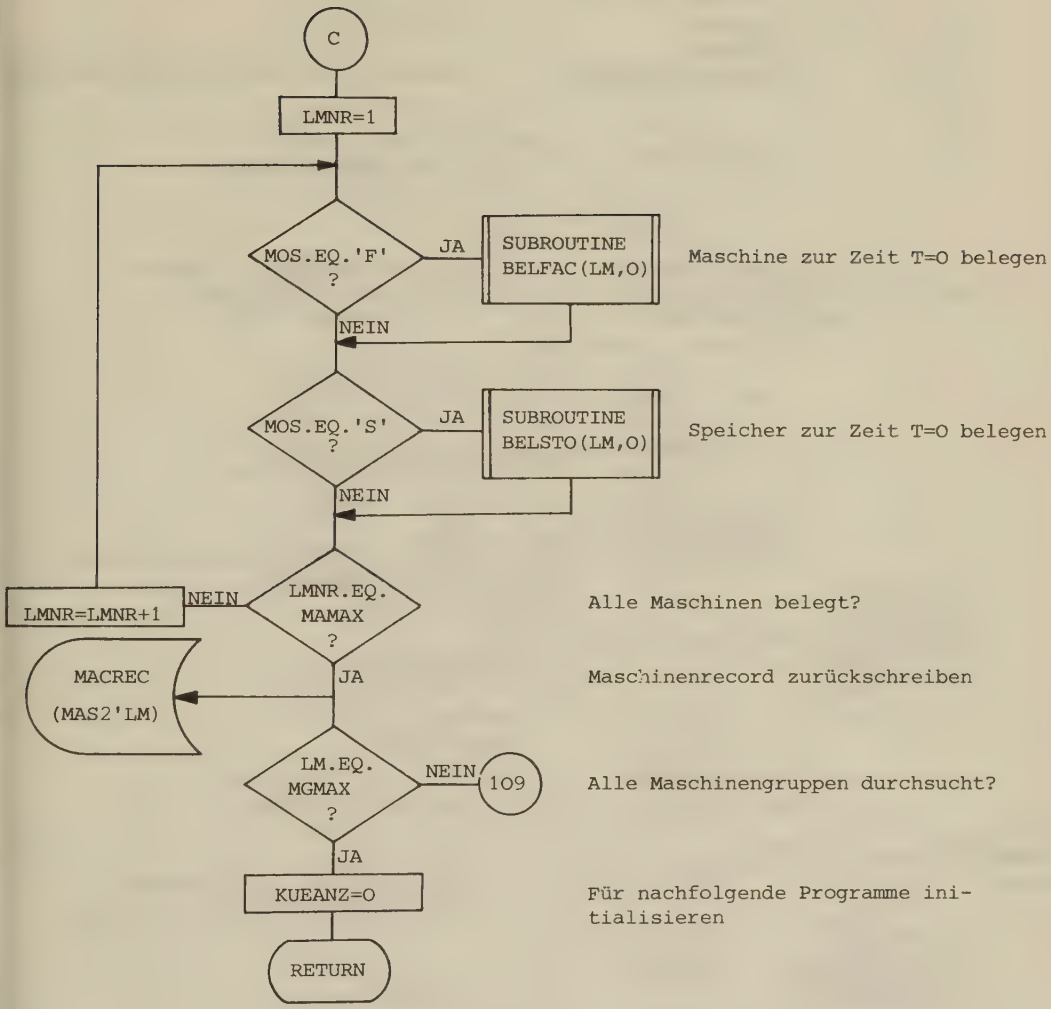


Folgendes gilt nur für Maschine

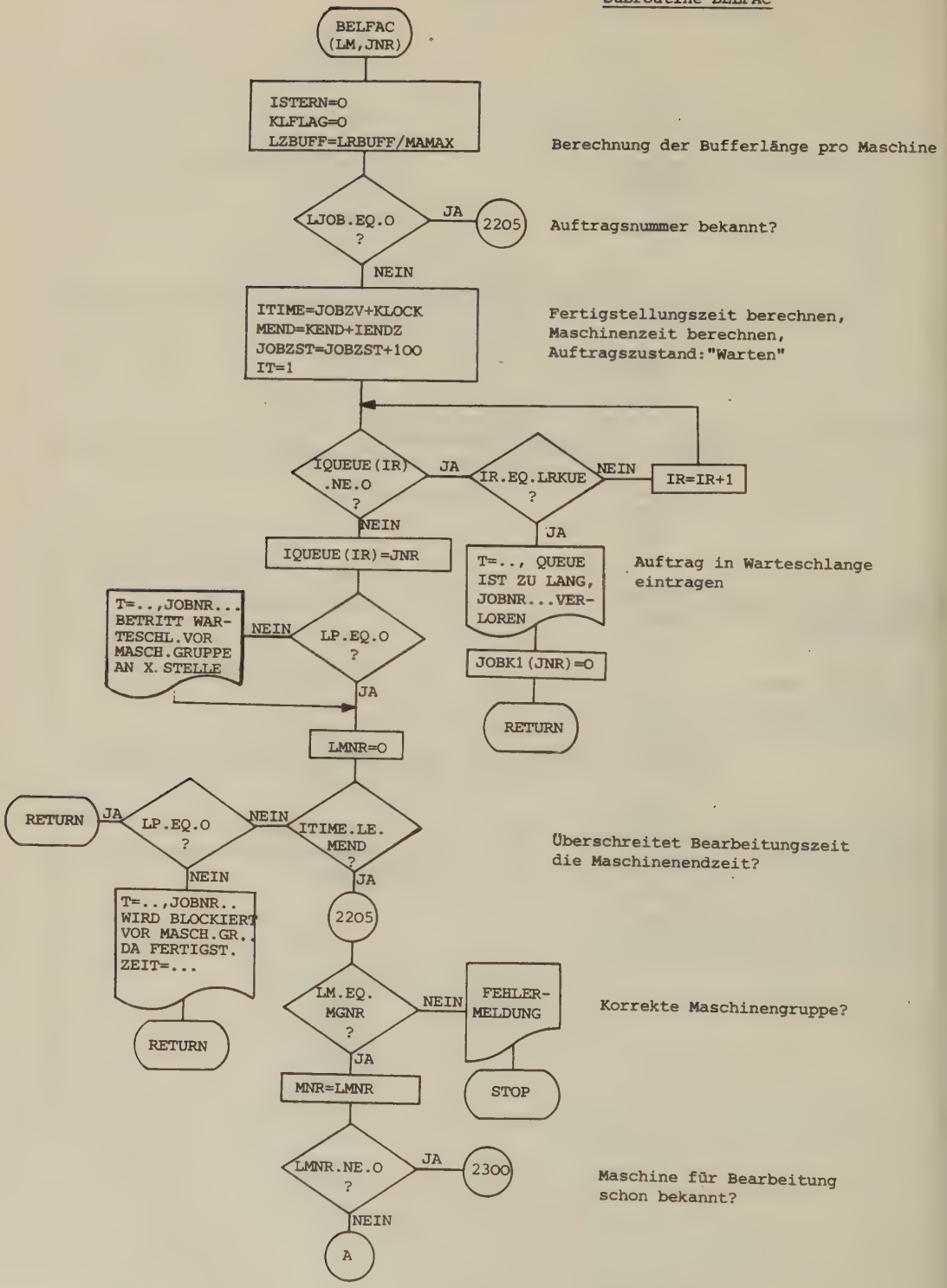
Aufträge, die in Warteschlange warten, zählen

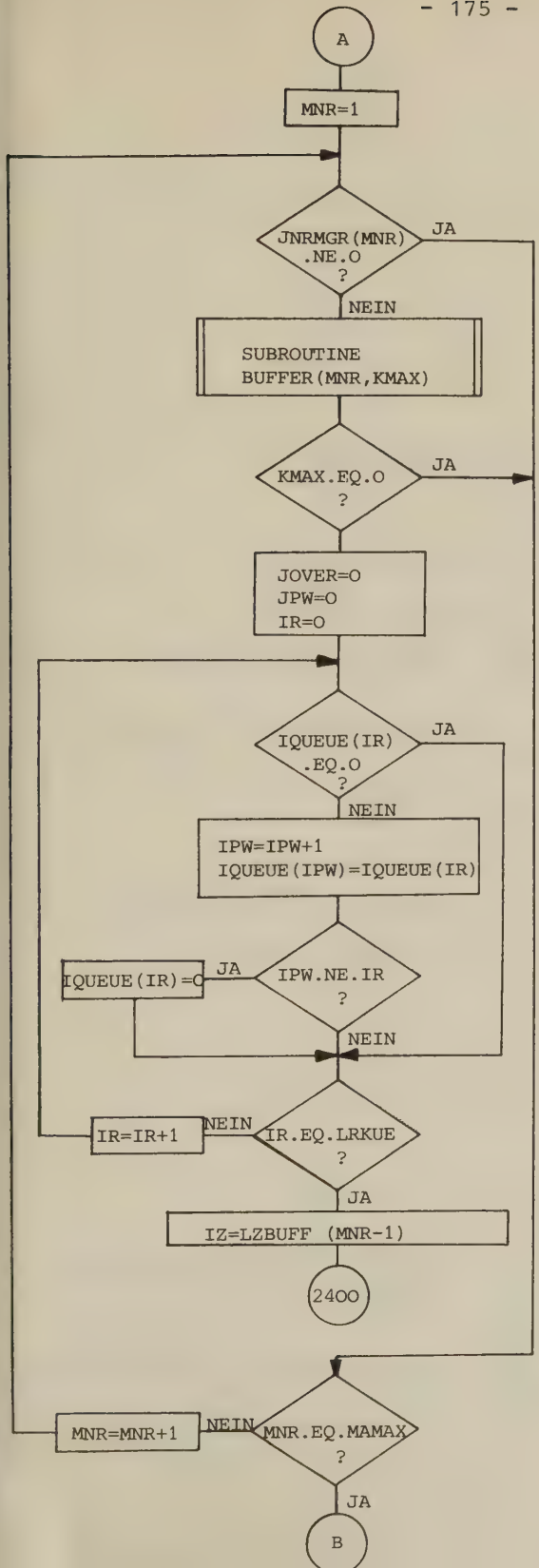
Keine Aufträge in Warteschlange

Bei mehr als einer Maschine in der Gruppe: Zähler, um alle Maschinen zum Zeitpunkt T=O mit gleichvielen Aufträgen zu belegen


C
LMNR=1
MOS.EQ.'F' ?
JA
SUBROUTINE BELFAC(LM,O)
Maschine zur Zeit T=O belegen
NEIN
MOS.EQ.'S' ?
JA
SUBROUTINE BELSTO(LM,O)
Speicher zur Zeit T=O belegen
NEIN
LMNR=LMNR+1
NEIN
LMNR.EQ. MAMAX ?
Alle Maschinen belegt?
MACREC (MAS2'LM)
JA
Maschinenrecord zurückschreiben
LM.EQ. MGMAX ?
NEIN
109
Alle Maschinengruppen durchsucht?
JA
KUEANZ=O
Für nachfolgende Programme initialisieren
RETURN

Subroutine BELFAC





Maschine nicht bekannt:

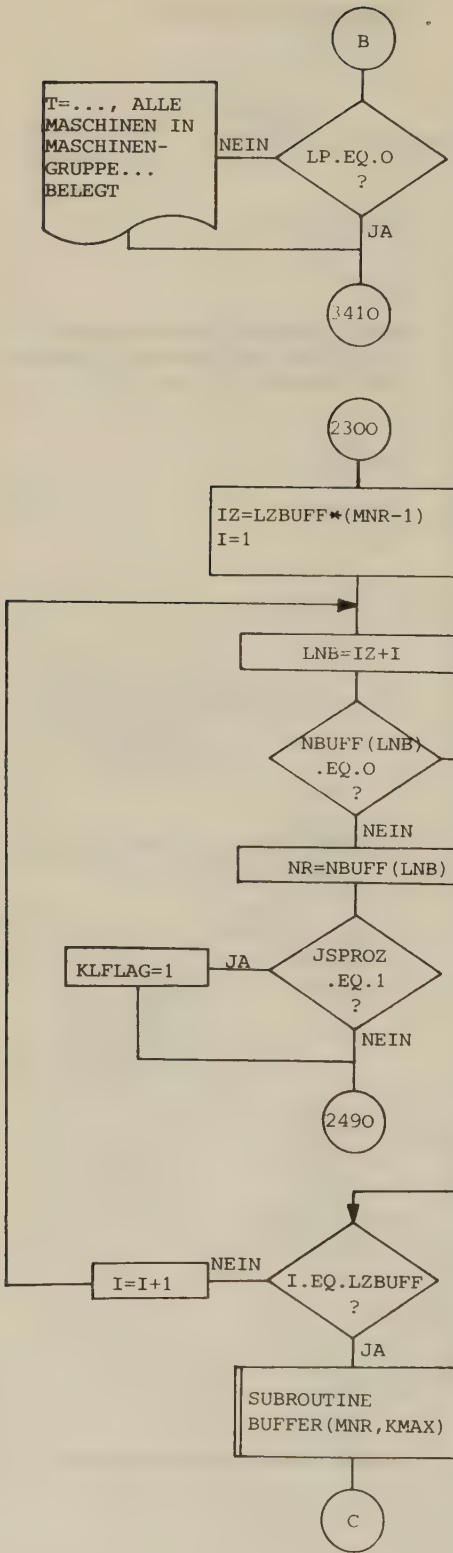
Maschine frei?

Maschine nach Restriktionen auswählen und Auftrag in Maschinenbuffer eintragen

Buffer leer?

Warteschlange zusammenschieben (für FCFS-Regel)

Alle Maschinen durchsucht?



Maschine bekannt:

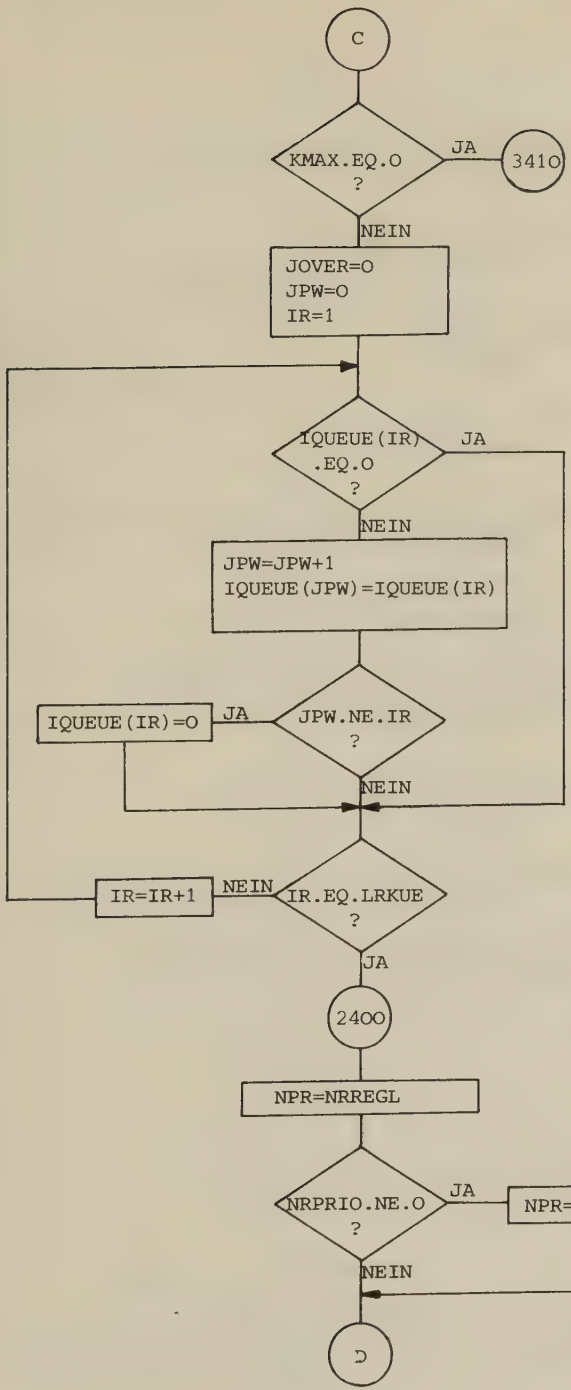
Maschinenbuffer durchsuchen

Auftrag gefunden!

Warensammelprozess?

Buffer für diese Maschine fertig durchsucht?

Wenn Buffer leer, neu mit Aufträgen füllen

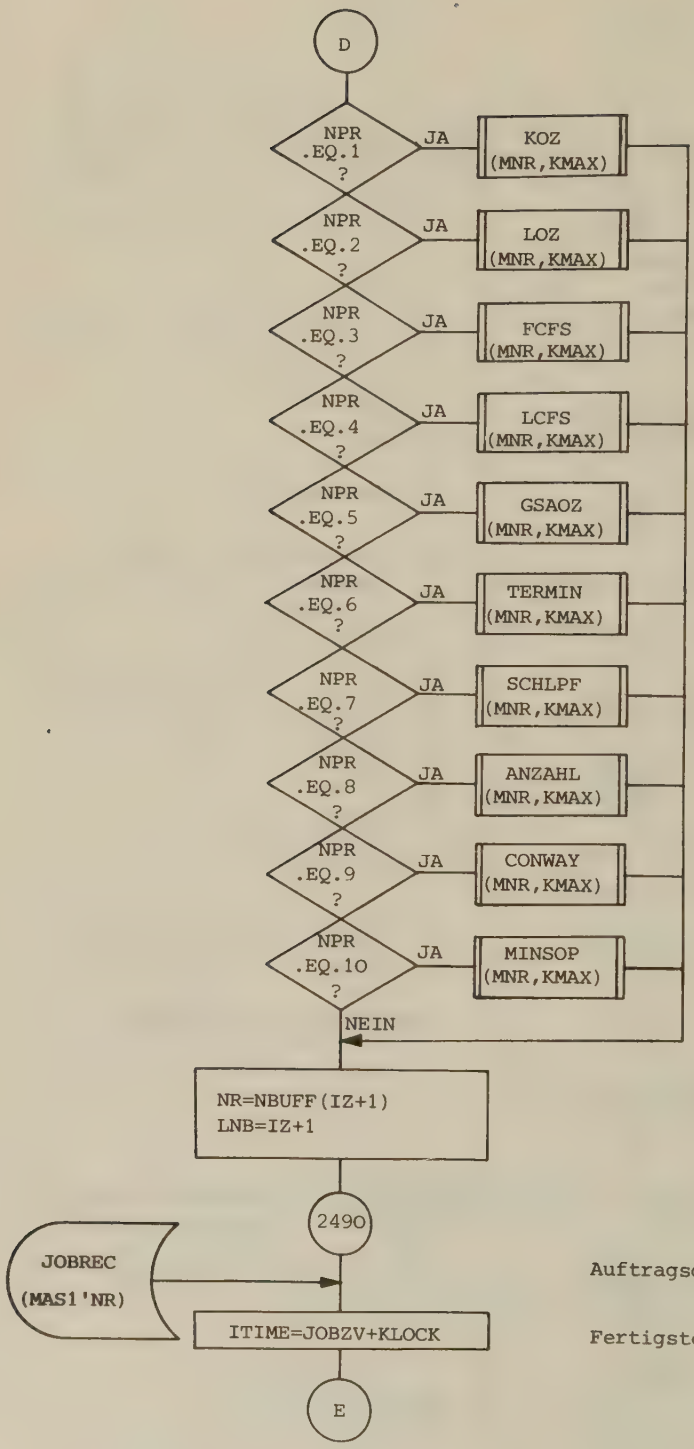


Buffer leer?

Warteschlange zusammen-schieben

Prioritätsregel bestimmen:

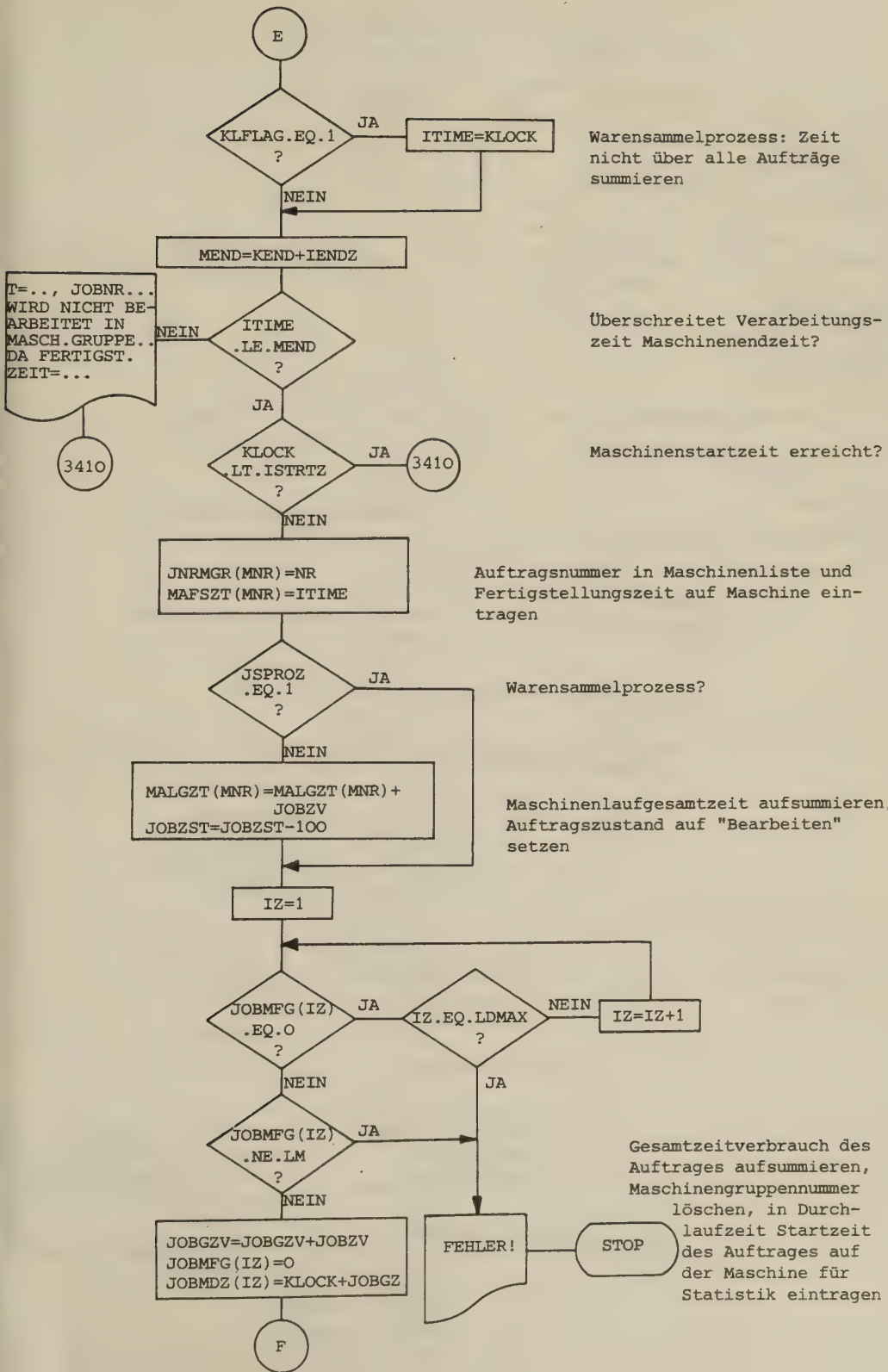
Maschineneigene Prioritätsregel gilt!

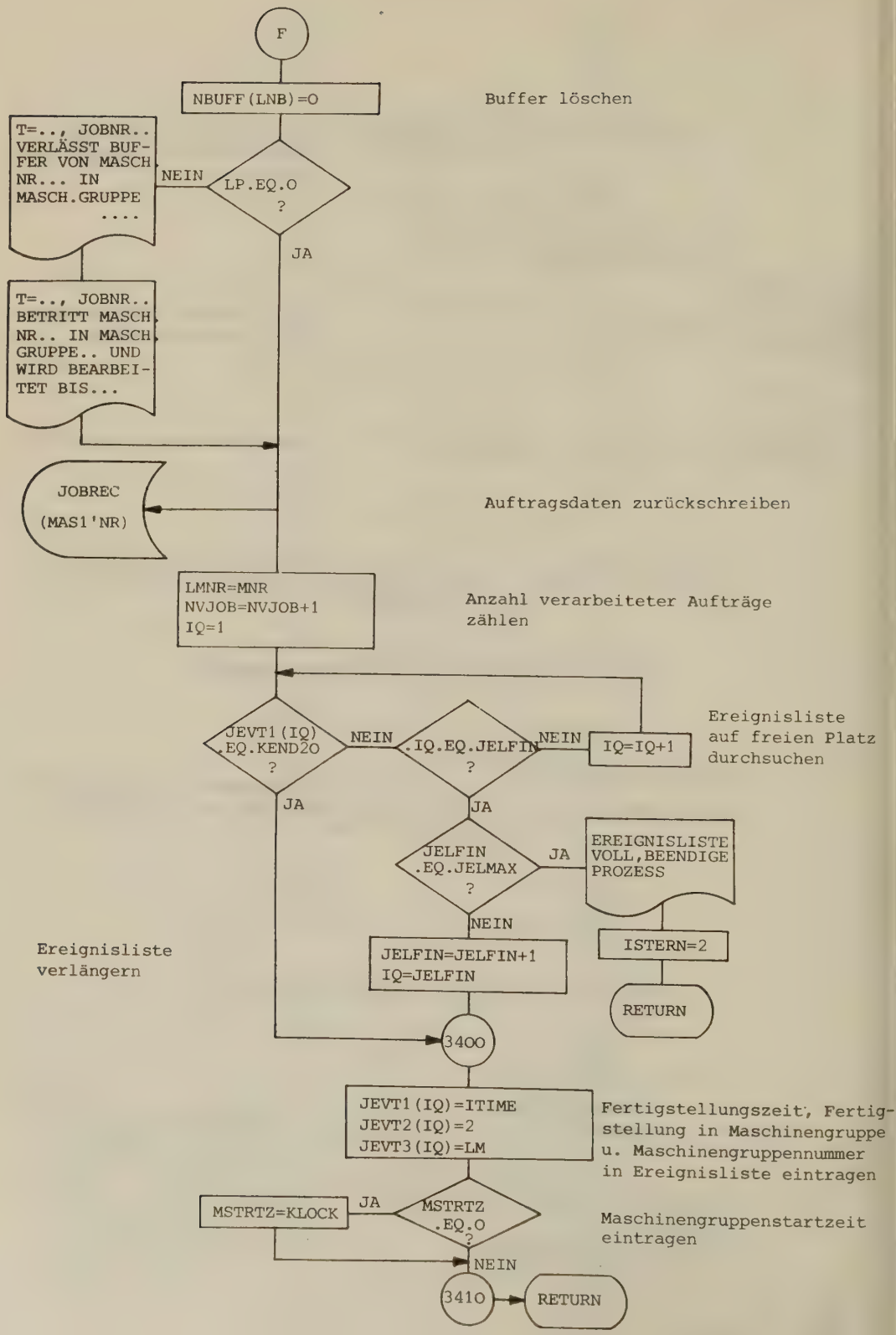


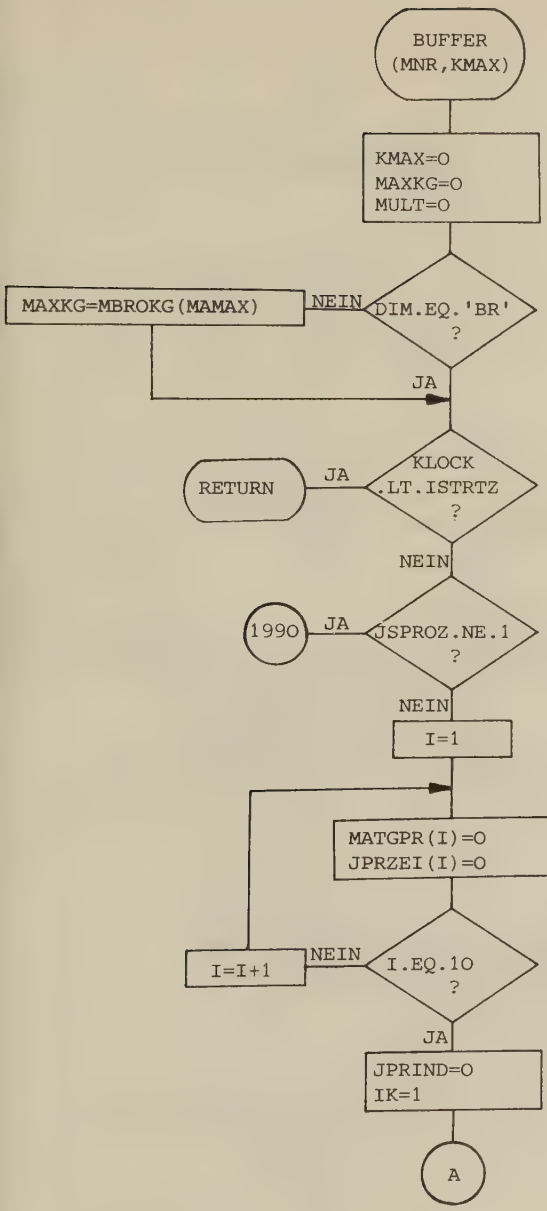
Prioritätsregel auswählen

Auftragsdaten einlesen

Fertigstellungszeit berechnen


E
KLFLAG.EQ.1 ?
JA
ITIME=KLOCK
NEIN
MEND=KEND+IENDZ
T=.., JOBNR...
WIRD NICHT BE-
ARBEITET IN
MASCH.GRUPPE..
DA FERTIGST.
ZEIT=...
NEIN
ITIME .LE.MEND ?
JA
3410
KLOCK .LT.ISTRTZ ?
JA
3410
NEIN
JNRMGR(MNR)=NR
MAFSZT(MNR)=ITIME
JSPROZ .EQ.1 ?
JA
NEIN
MALGZT(MNR)=MALGZT(MNR)+ JOBZV
JOBZST=JOBZST-100
IZ=1
JOBMFG(IZ) .EQ.O ?
JA
IZ.EQ.LDMAX ?
NEIN
IZ=IZ+1
NEIN
JA
JOBMFG(IZ) .NE.LM ?
JA
NEIN
JOBGZV=JOBGZV+JOBZV
JOBMFG(IZ)=O
JOBMDZ(IZ)=KLOCK+JOBGZ
FEHLER!
STOP
F
Warensammelprozess: Zeit nicht über alle Aufträge summieren
Überschreitet Verarbeitungszeit Maschinenendzeit?
Maschinenstartzeit erreicht?
Auftragsnummer in Maschinenliste und Fertigstellungszeit auf Maschine eintragen
Warensammelprozess?
Maschinenlaufgesamtzeit aufsummieren, Auftragszustand auf "Bearbeiten" setzen
Gesamtzeitverbrauch des Auftrages aufsummieren, Maschinengruppennummer löschen, in Durchlaufzeit Startzeit des Auftrages auf der Maschine für Statistik eintragen


F
NBUFF(LNB)=O
Buffer löschen
T=.., JOBNR.. VERLÄSST BUFFER VON MASCH NR... IN MASCH.GRUPPE ....
NEIN
LP.EQ.O ?
JA
T=.., JOBNR.. BETRITT MASCH NR.. IN MASCH GRUPPE.. UND WIRD BEARBEITET BIS...
JOBREC (MAS1'NR)
Auftragsdaten zurückschreiben
LMNR=MNR
NVJOB=NVJOB+1
IQ=1
Anzahl verarbeiteter Aufträge zählen
JEVT1(IQ) .EQ.KEND2O ?
NEIN
.IQ.EQ.JELFIN ?
NEIN
IQ=IQ+1
Ereignisliste auf freien Platz durchsuchen
JA
JA
JELFIN .EQ.JELMAX ?
JA
EREIGNISLISTE VOLL,BEENDIGE PROZESS
NEIN
Ereignisliste verlängern
JELFIN=JELFIN+1
IQ=JELFIN
ISTERN=2
RETURN
3400
JEVT1(IQ)=ITIME
JEVT2(IQ)=2
JEVT3(IQ)=LM
Fertigstellungszeit, Fertigstellung in Maschinengruppe u. Maschinengruppennummer in Ereignisliste eintragen
MSTRTZ=KLOCK
JA
MSTRTZ .EQ.O ?
Maschinengruppenstartzeit eintragen
NEIN
3410
RETURN



Subroutine BUFFER

Maximales Maschinenfassungsvermögen merken

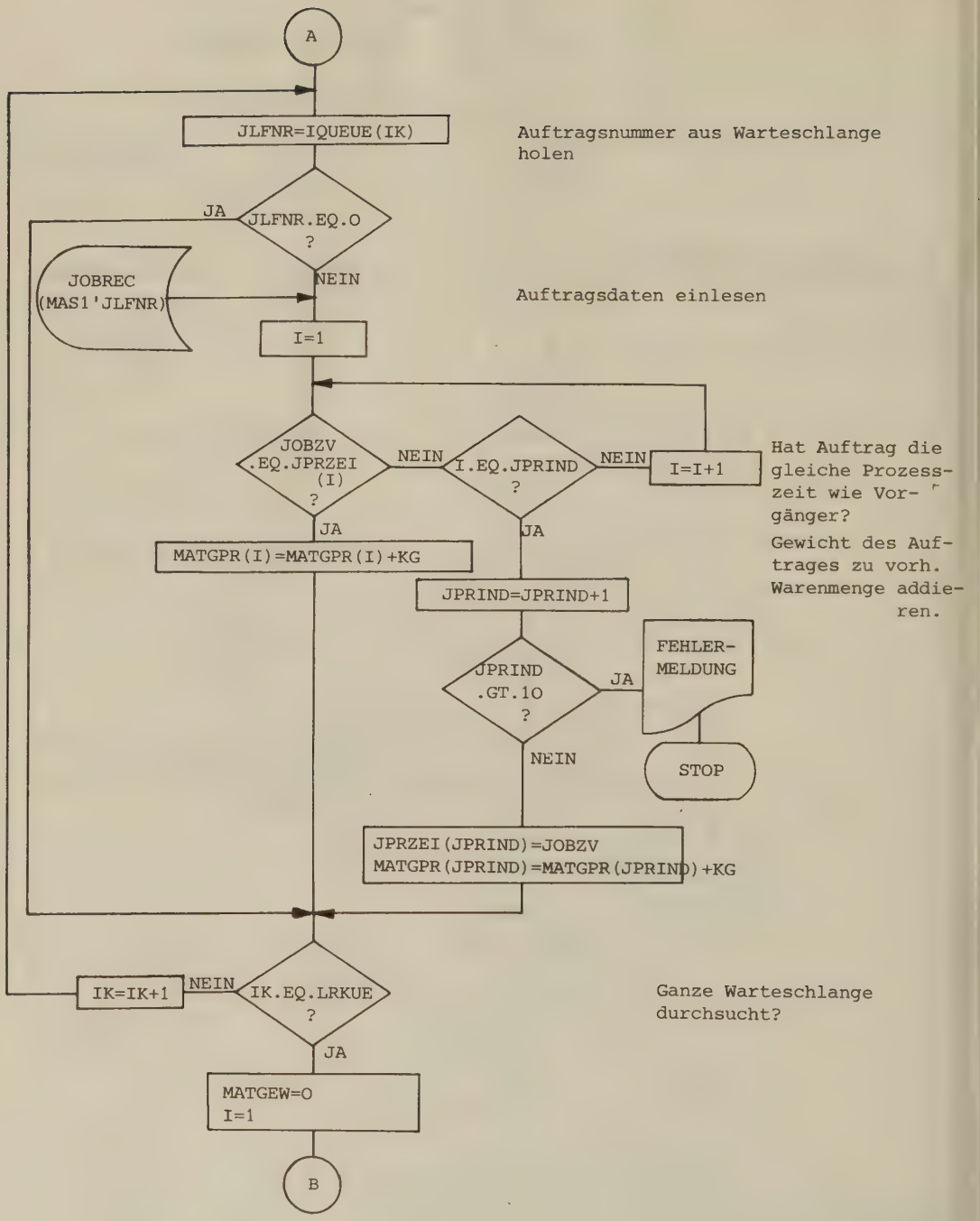
Maschinenstartzeit erreicht?

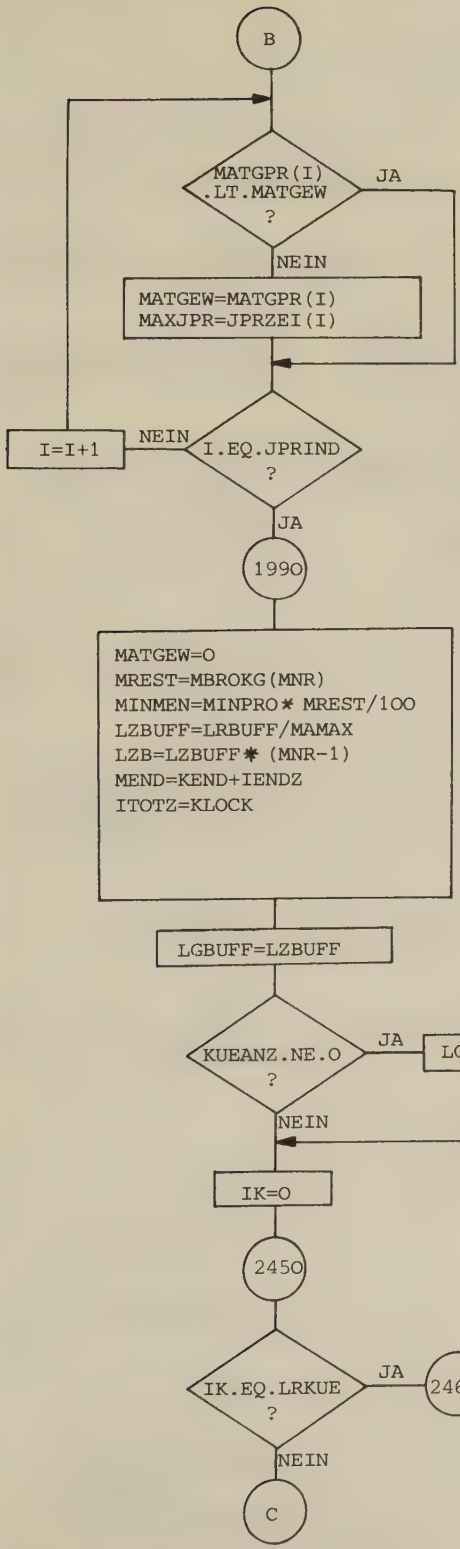
Kein Warensammelprozess → 1990

Warensammelprozess:

Felder für verschiedene Prozesszeiten bei Warensammelprozess initialisieren. Max. 10 verschiedene Prozesse!

Zähler für verschiedene Prozesszeiten initialisieren


A
JLFNR=IQUEUE(IK)
Auftragsnummer aus Warteschlange holen
JA
JLFNR.EQ.O ?
JOBREC (MAS1'JLFNR)
NEIN
Auftragsdaten einlesen
I=1
JOBZV .EQ.JPRZEI (I) ?
NEIN
I.EQ.JPRIND ?
NEIN
I=I+1
Hat Auftrag die gleiche Prozesszeit wie Vorgänger?
JA
JA
MATGPR(I)=MATGPR(I)+KG
Gewicht des Auftrages zu vorh. Warenmenge addieren.
JPRIND=JPRIND+1
JPRIND .GT.10 ?
JA
FEHLER-MELDUNG
NEIN
STOP
JPRZEI(JPRIND)=JOBZV
MATGPR(JPRIND)=MATGPR(JPRIND)+KG
IK=IK+1
NEIN
IK.EQ.LRKUE ?
Ganze Warteschlange durchsucht?
JA
MATGEW=O
I=1
B



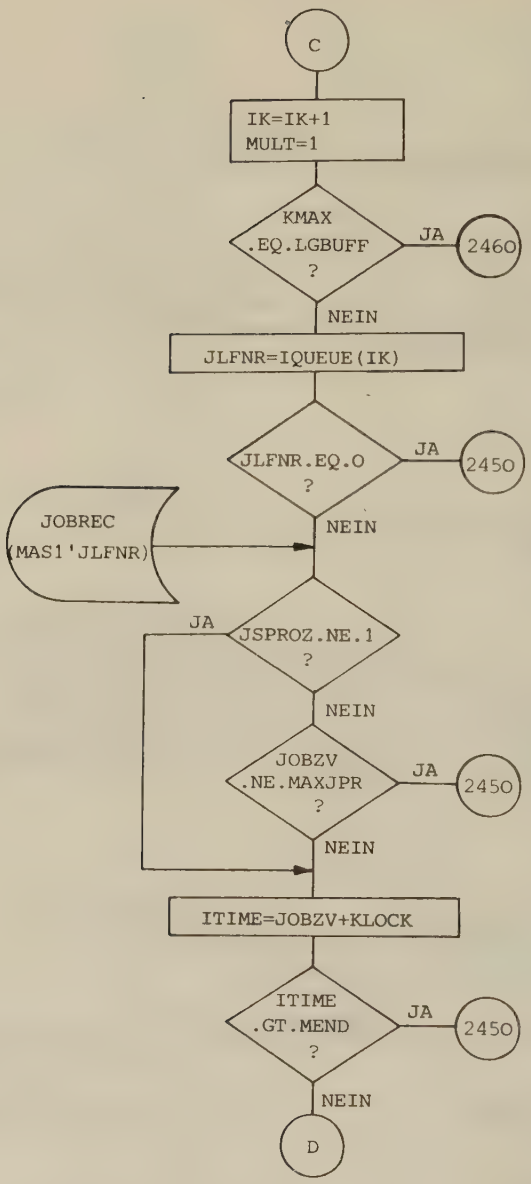
Die Prozesszeit, bei der das Gewicht der Aufträge am grössten ist, wird zuerst ausgewählt.

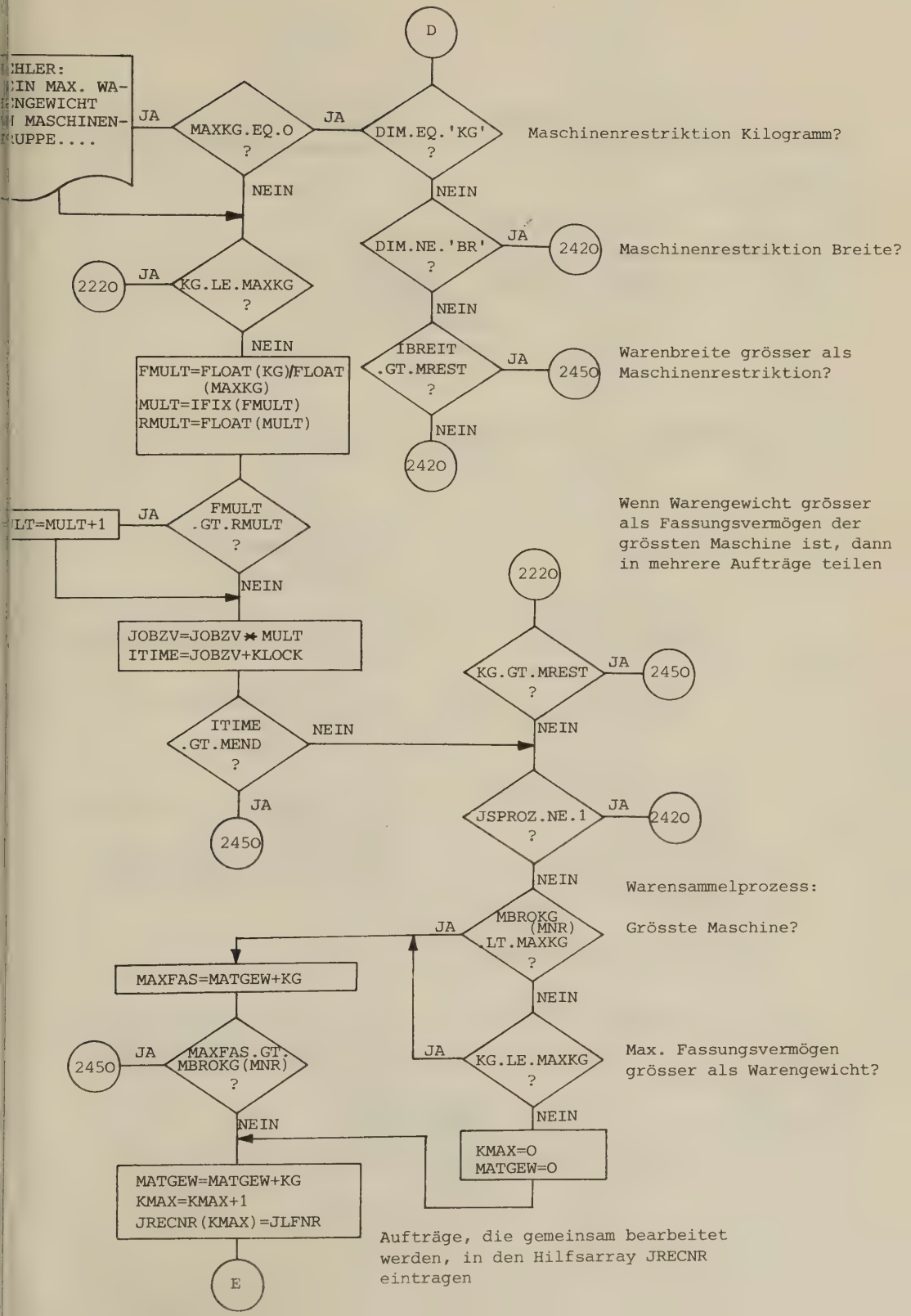
Maschinenrestriktion merken
Mindestmenge bestimmen
Beginn des betreffenden Maschinenbuffers berechnen
Maschinenendzeit bestimmen

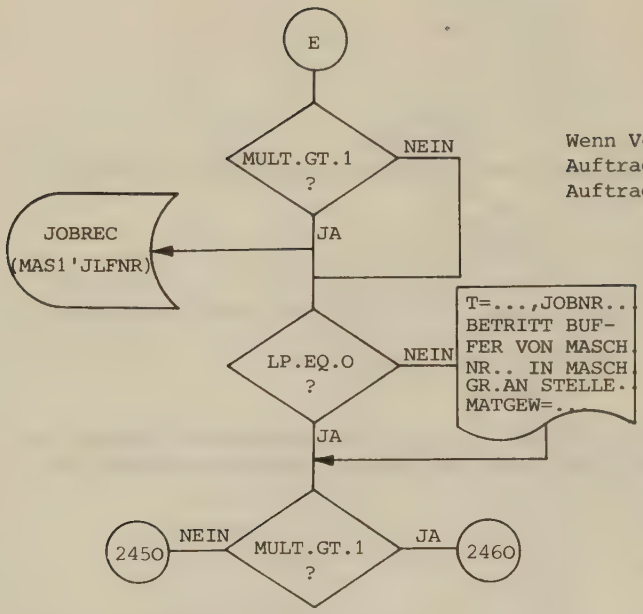
Für gleichmässige Maschinenbelegung bei T=O:

Sind Aufträge in der Warteschlange?

Ganze Warteschlange durchsucht?

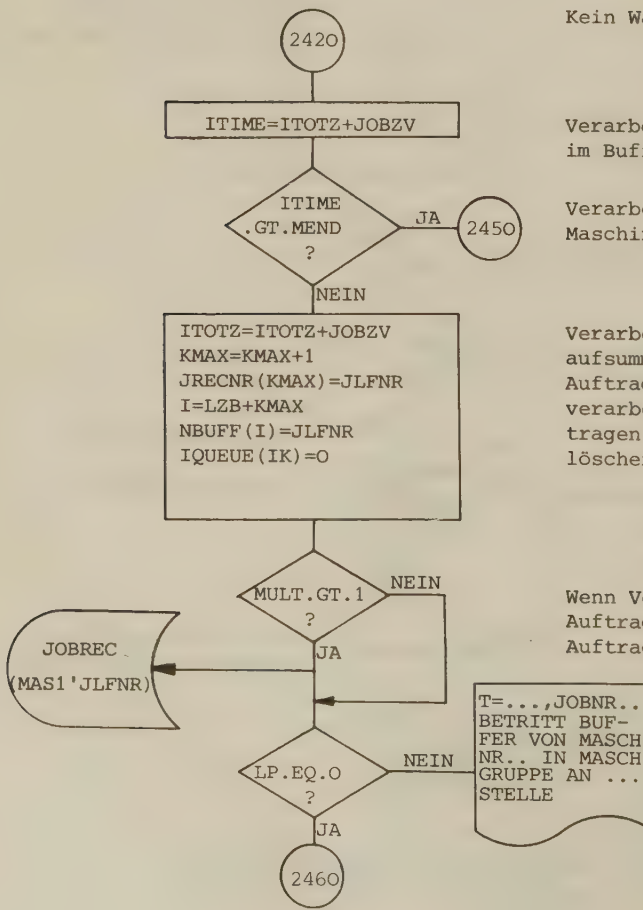

C
IK=IK+1
MULT=1
KMAX
.EQ.LGBUFF
?
JA
2460
Buffer der Maschine voll?
NEIN
JLFNR=IQUEUE(IK)
Auftrag aus Warteschlange entnehmen
JLFNR.EQ.O
?
JA
2450
Auftragsnummer ist O?
NEIN
JOBREC
(MAS1'JLFNR)
Auftragsdaten einlesen
JA
JSPROZ.NE.1
?
NEIN
JOBZV
.NE.MAXJPR
?
JA
2450
Entspricht Verarbeitungszeit der Prozesszeit des Warensammelprozesses?
NEIN
ITIME=JOBZV+KLOCK
Verarbeitungszeit
ITIME
.GT.MEND
?
JA
2450
Verarbeitungszeit grösser als Maschinenstartzeit?
NEIN
D


D
:EHLER:
:EIN MAX. WA-
:ENGEWICHT
:M MASCHINEN-
:RUPPE....
JA
MAXKG.EQ.O
?
JA
DIM.EQ.'KG'
?
Maschinenrestriktion Kilogramm?
NEIN
NEIN
DIM.NE.'BR'
?
JA
2420
Maschinenrestriktion Breite?
2220
JA
KG.LE.MAXKG
?
NEIN
NEIN
IBREIT
.GT.MREST
?
JA
2450
Warenbreite grösser als Maschinenrestriktion?
FMULT=FLOAT(KG)/FLOAT
(MAXKG)
MULT=IFIX(FMULT)
RMULT=FLOAT(MULT)
NEIN
2420
LT=MULT+1
JA
FMULT
.GT.RMULT
?
Wenn Warengewicht grösser als Fassungsvermögen der grössten Maschine ist, dann in mehrere Aufträge teilen
NEIN
2220
JOBZV=JOBZV * MULT
ITIME=JOBZV+KLOCK
KG.GT.MREST
?
JA
2450
ITIME
.GT.MEND
?
NEIN
NEIN
JA
2450
JSPROZ.NE.1
?
JA
2420
NEIN
Warensammelprozess:
MBROKG
(MNR)
.LT.MAXKG
?
JA
Grösste Maschine?
MAXFAS=MATGEW+KG
NEIN
2450
JA
MAXFAS.GT.
MBROKG(MNR)
?
JA
KG.LE.MAXKG
?
Max. Fassungsvermögen grösser als Warengewicht?
NEIN
NEIN
KMAX=O
MATGEW=O
MATGEW=MATGEW+KG
KMAX=KMAX+1
JRECNR(KMAX)=JLFNR
Aufträge, die gemeinsam bearbeitet werden, in den Hilfsarray JRECNR eintragen
E



Wenn Verarbeitungszeit eines Auftrages geteilt, dann modifiz. Auftragsdaten zurückschreiben

Kein Warensammelprozess:

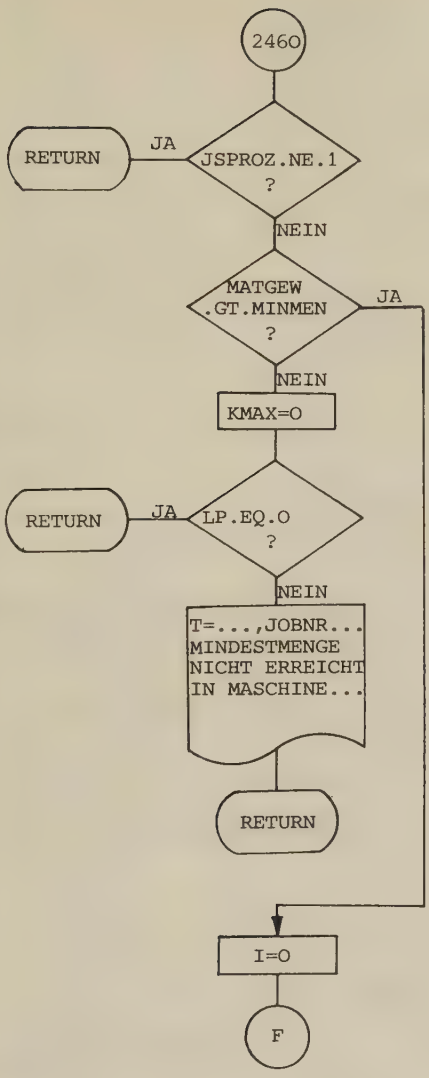


Verarbeitungszeit aller Aufträge im Buffer

Verarbeitungszeit grösser als Maschinenendzeit?

Verarbeitungszeit aller Aufträge aufsummieren
Auftragsnummer in Array der zu verarbeitenden Aufträge eintragen und aus Warteschlange löschen

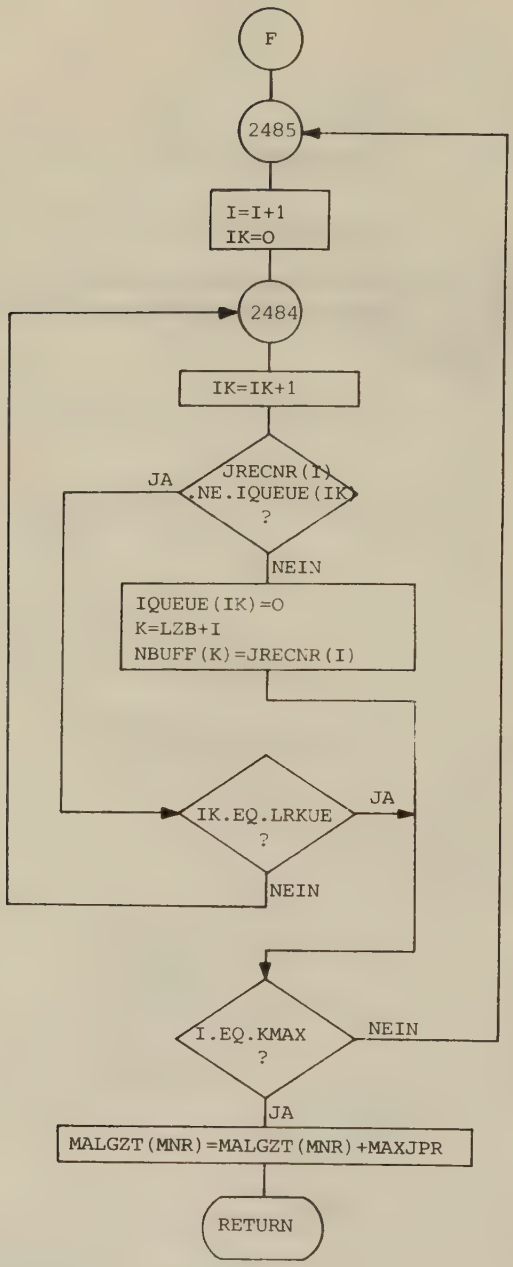
Wenn Verarbeitungszeit eines Auftrages geteilt, dann modifiz. Auftragsdaten zurückschreiben



Warensammelprozess?

Warensammelprozess:

Materialgewicht mit Mindest-
menge für Prozessbeginn vergleichen



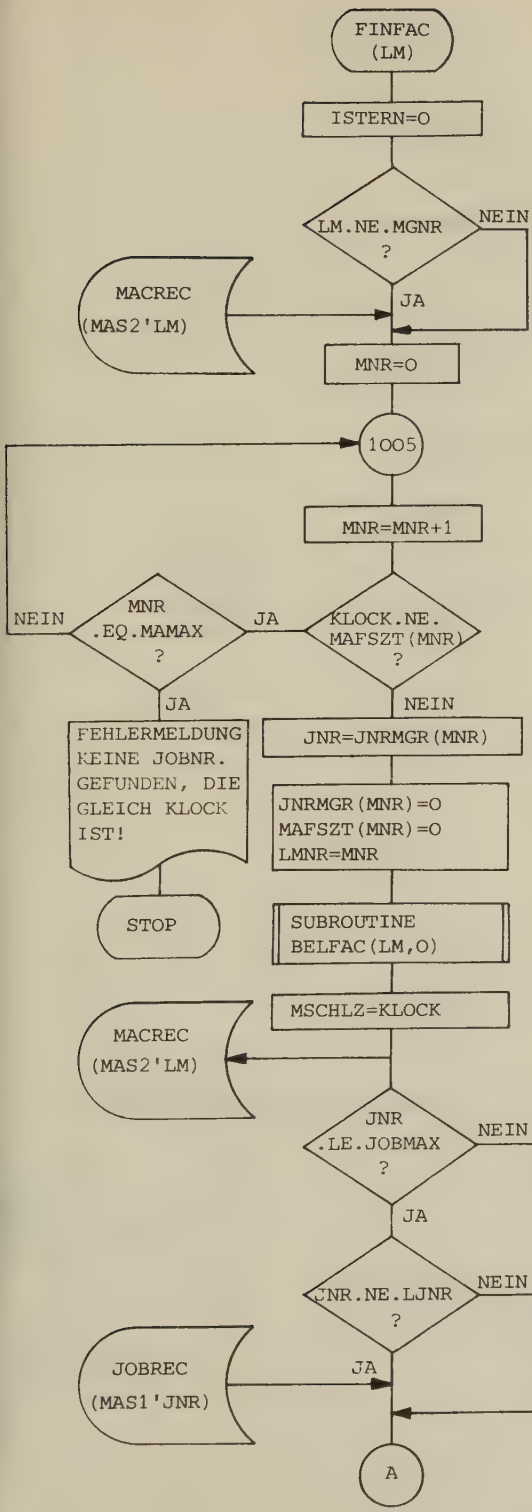
Auftrag aus Warteschlange löschen und in Maschinenbuffer eintragen

Ganze Warteschlange durchsucht?

Für alle Aufträge durchgeführt?

Maschinenlaufzeit bei Warensammelprozess aufsummieren

Subroutine FINFAC



Maschinendaten lesen

Fertigstellung eines Auftrages zu dieser Zeit auf einer Maschine in dieser Gruppe?

Auftrag gefunden

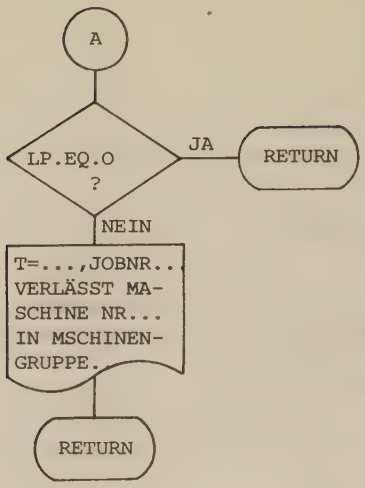
Auftragsnummer und Maschinenfertigstellungszeit auf dieser Maschine löschen

Maschine wieder zu belegen versuchen, Auftrag unbekannt

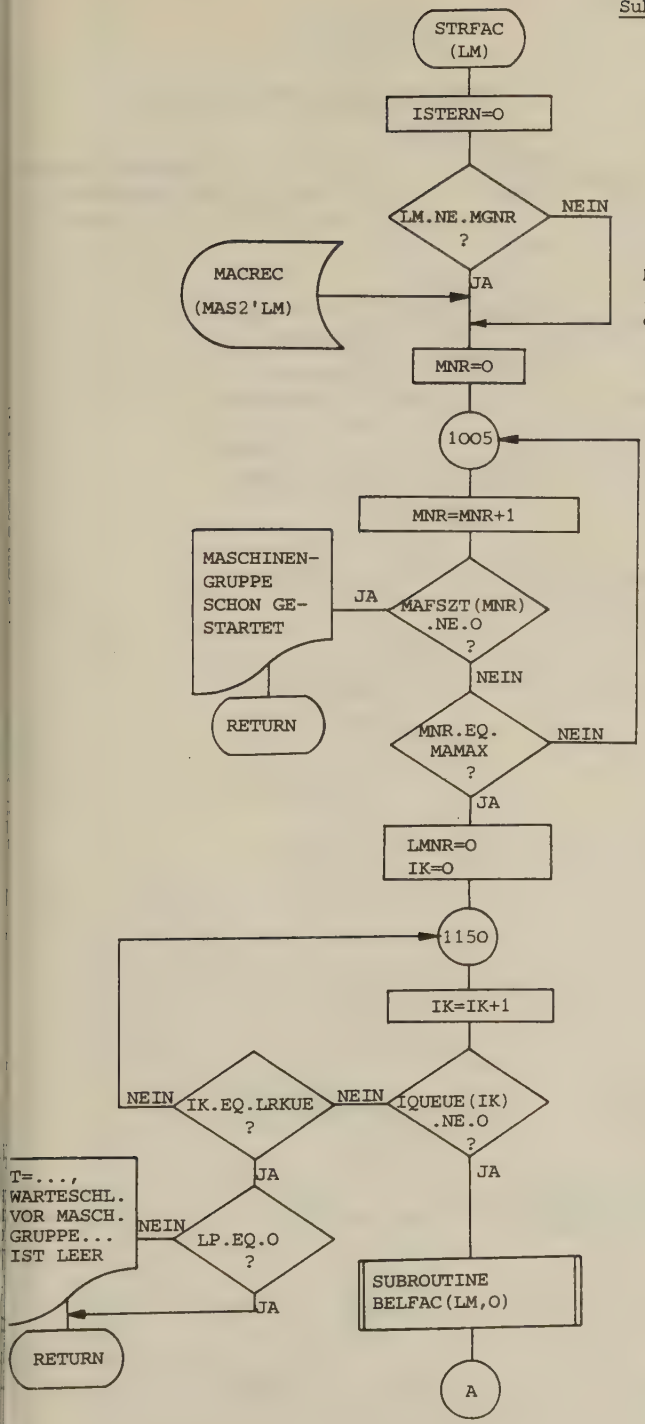
Maschinenlaufendzeit festhalten

Maschinendaten zurückschreiben

Falls die richtigen Auftragsdaten noch nicht vorhanden, einlesen


A
LP.EQ.O
?
JA
RETURN
NEIN
T=...,JOBNR..
VERLÄSST MA-
SCHINE NR...
IN MSCHINEN-
GRUPPE..
RETURN

Subroutine STRFAC



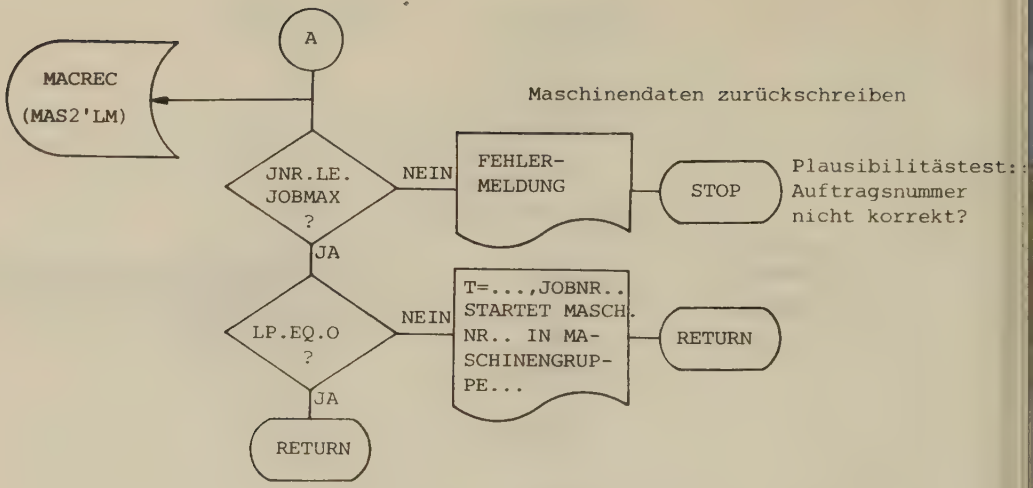
Maschinendaten der Maschinengruppe, in der eine Maschine gestartet werden soll, einlesen

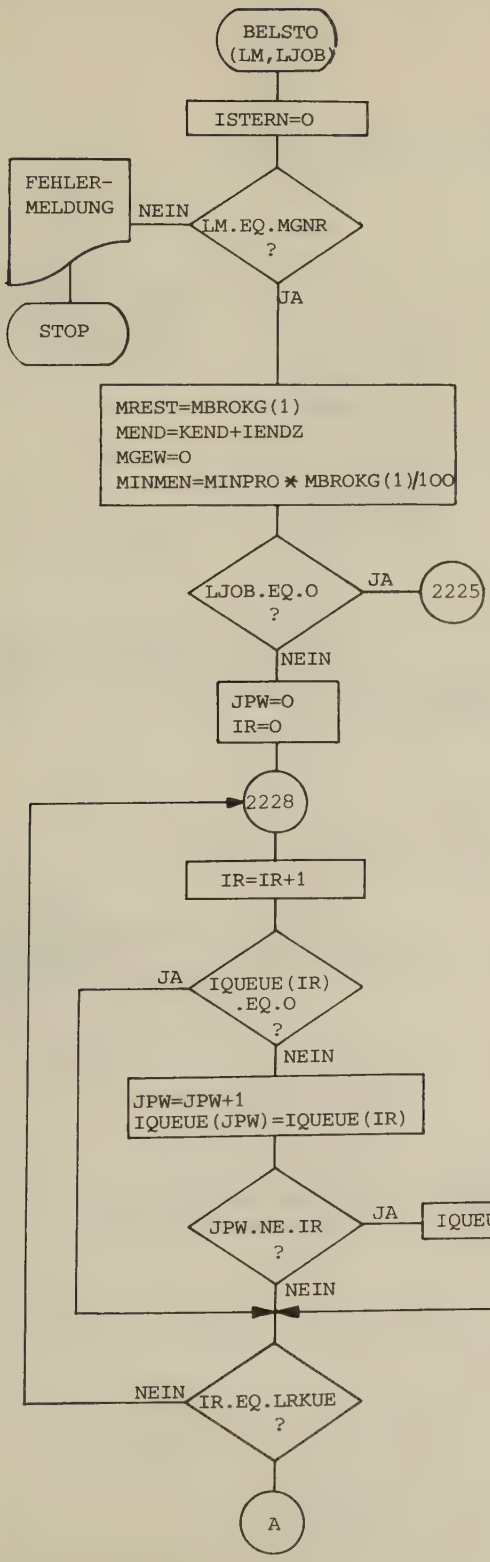
Sollte eine Maschine der Gruppe schon belegt sein, dann wurde Maschinengruppe schon gestartet

Maschine, die gestartet werden soll, ist noch nicht bekannt

Warteschlange nach einem Auftrag der eine Maschine starten soll, durchsuchen

Maschine mit einem Auftrag belegen


A
MACREC
(MAS2'LM)
Maschinendaten zurückschreiben
JNR.LE.
JOBMAX
?
NEIN
FEHLER-
MELDUNG
STOP
Plausibilitästest:
Auftragsnummer
nicht korrekt?
JA
LP.EQ.O
?
NEIN
T=...,JOBNR..
STARTET MASCH.
NR.. IN MA-
SCHINENGRUP-
PE...
RETURN
JA
RETURN



Subroutine BELSTO

Auftragsnummer merken

Test: Richtige Maschinengruppen-nummer vorhanden?

Restriktion aus Maschinendaten holen
Maschinenendzeit berechnen

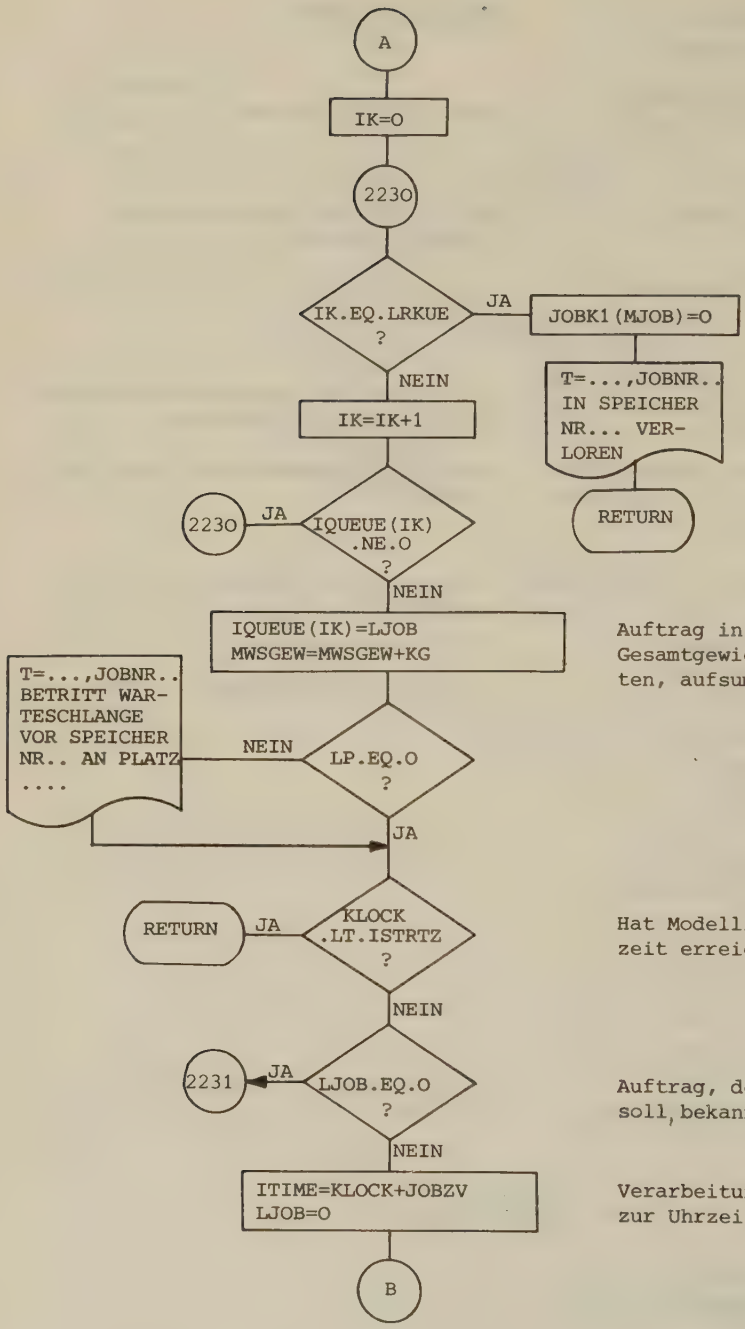
Mindestbelegungsmenge für Start berechnen

Auftrag in der Warteschlange schon gefunden?

Zähler initialisieren

Warteschlange zusammenschieben für Regel (FCFS)

Ganze Warteschlange durchsucht?



Ganze Warteschlange durchsucht?

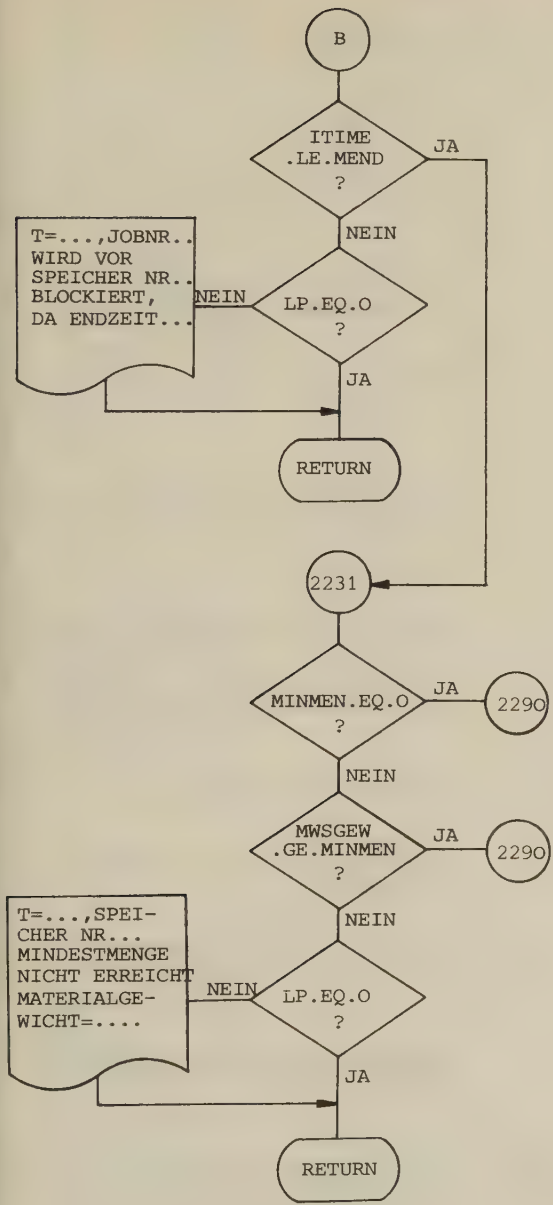
Freier Platz in Warteschlange?

Auftrag in Warteschlange eintragen
Gesamtgewicht d. Aufträge, die warten, aufsummieren

Hat Modellzeit die Maschinenstartzeit erreicht?

Auftrag, der verarbeitet werden soll, bekannt?

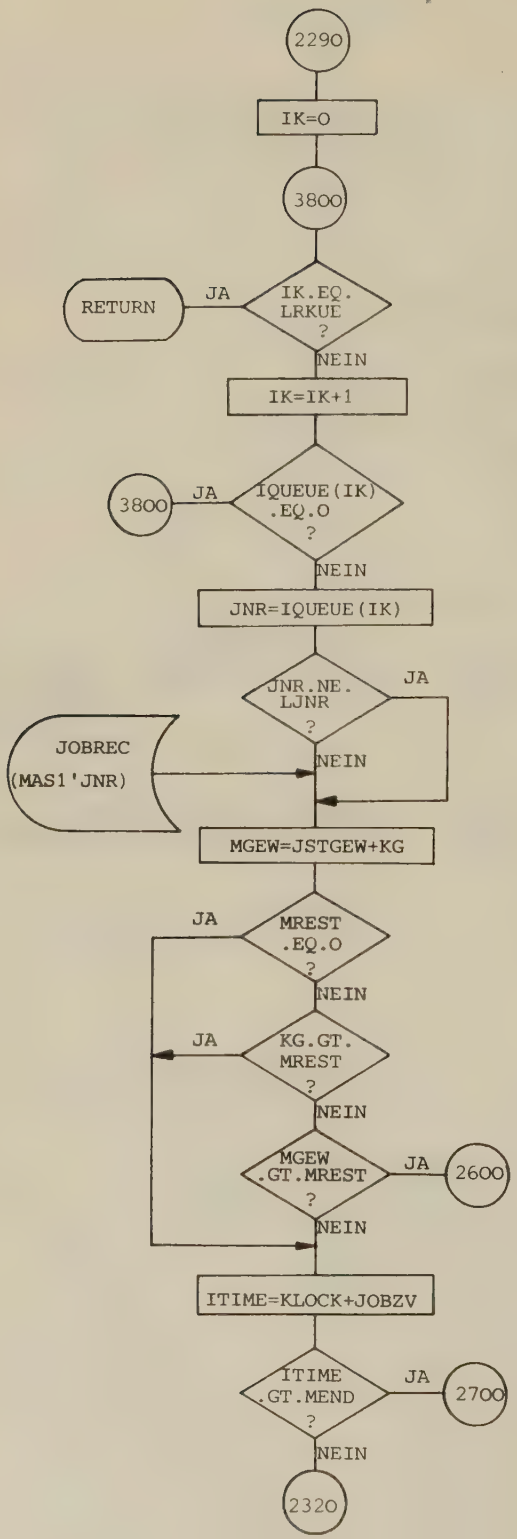
Verarbeitungszeit des Auftrages zur Uhrzeit zählen



Endzeit des Auftrages kleiner als Maschinenendzeit?

Mindestmenge für Start vorhanden?

Gesamtgewicht der Aufträge, die warten, grösser/gleich Mindestmenge?



Ganze Warteschlange durchsucht?

Auftrag in Warteschlange vorhanden?

Auftrag aus Warteschlange nehmen

Auftragsdaten vorhanden?

Auftragsdaten einlesen

Auftragsgewicht in der Maschine aufsummieren

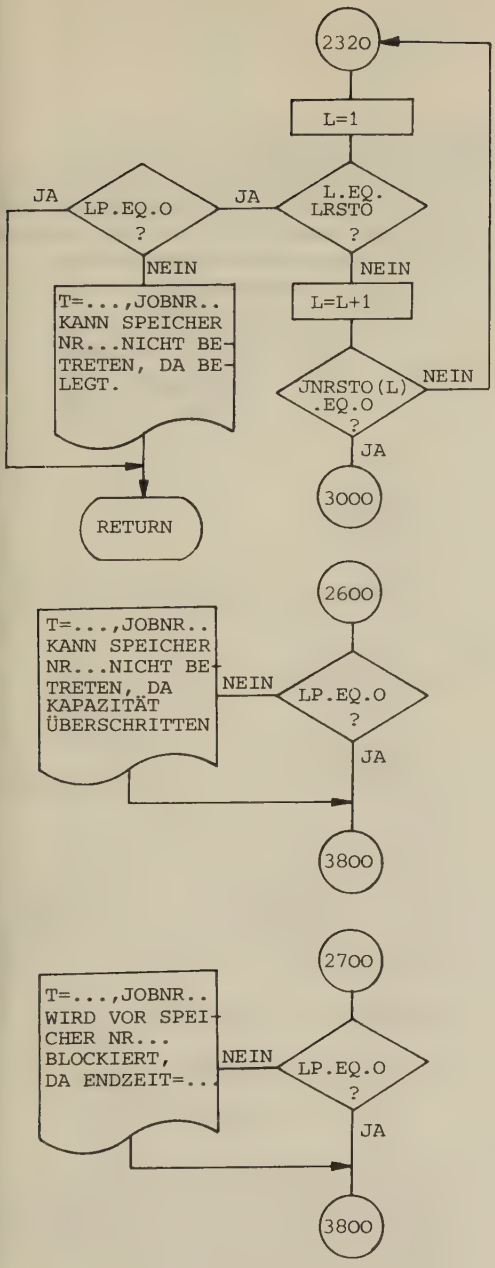
Maschinenrestriktion vorhanden?

Einzelauftrag grösser als Maschinenrestriktion?

Aufsummierte Auftragsgewichte grösser als Maschinenrestriktion?

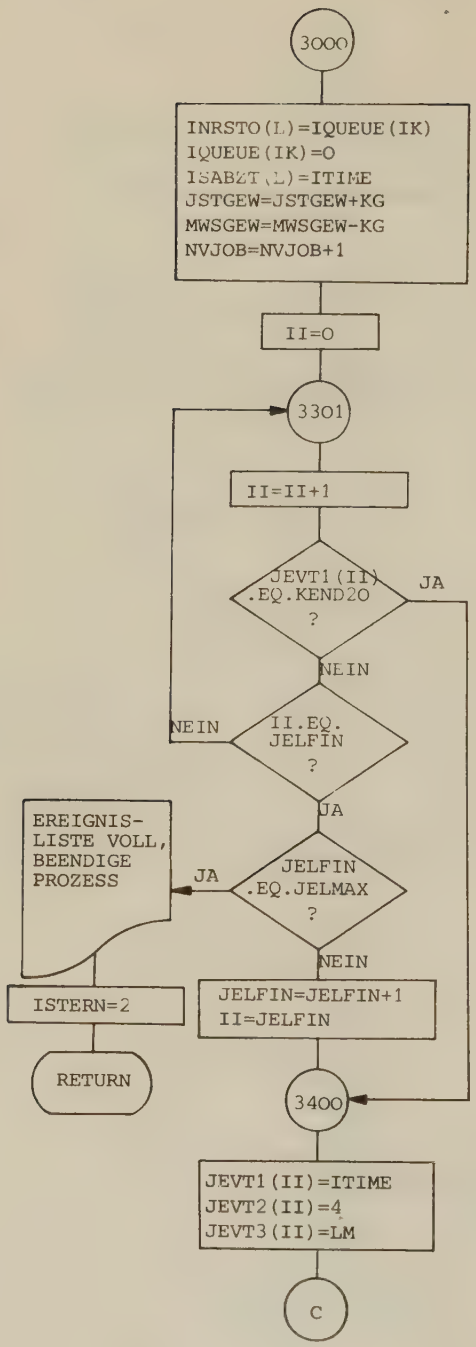
Verarbeitungszeit zur Uhrzeit zählen

Verarbeitungszeit grösser als Maschinenendzeit?



Ganzer Speicher durchsucht?

Freier Platz in Speicher vorhanden?

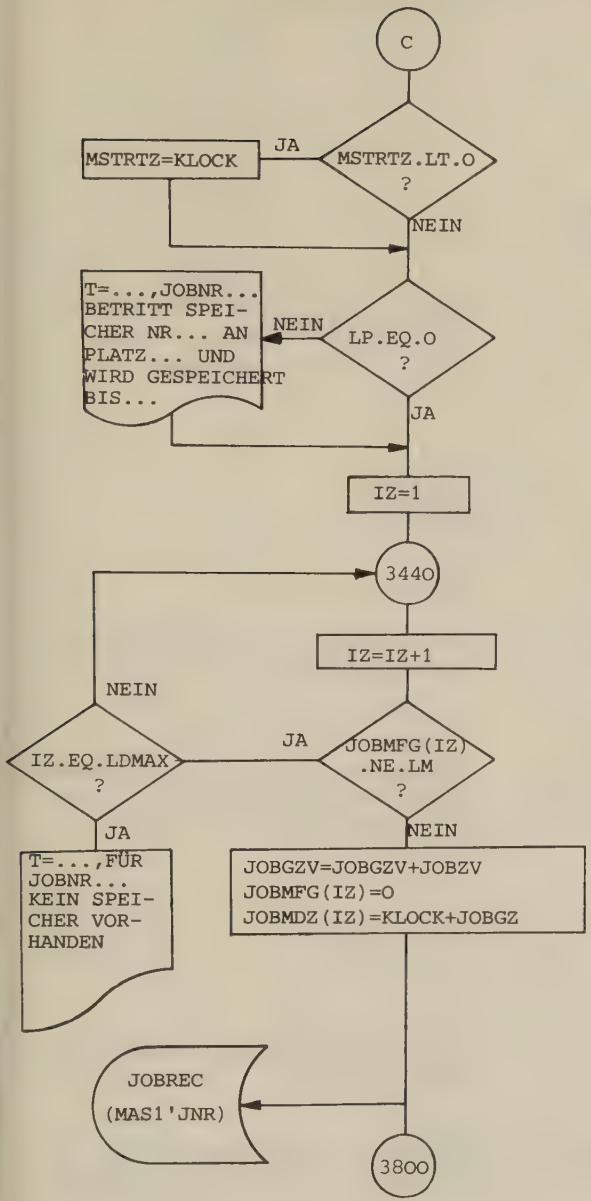


Auftrag belegt Speicher
Auftrag aus Warteschlange löschen
Fertigstellungszeit auf Speicher eintragen
Gewicht des Auftrages zu den in Speicher befindlichen dazuzählen und von Gewichten der in der Warteschlange befindlichen Aufträgen subtrahieren.

Freier Platz in Ereignisliste?

Ereignisliste verlängern

Fertigstellungszeit in Ereignisliste eintragen; Ereignisart: Freigabe aus einem Speicher; Maschinengruppennummer, auf der ein Ereignis geschieht, eintragen.



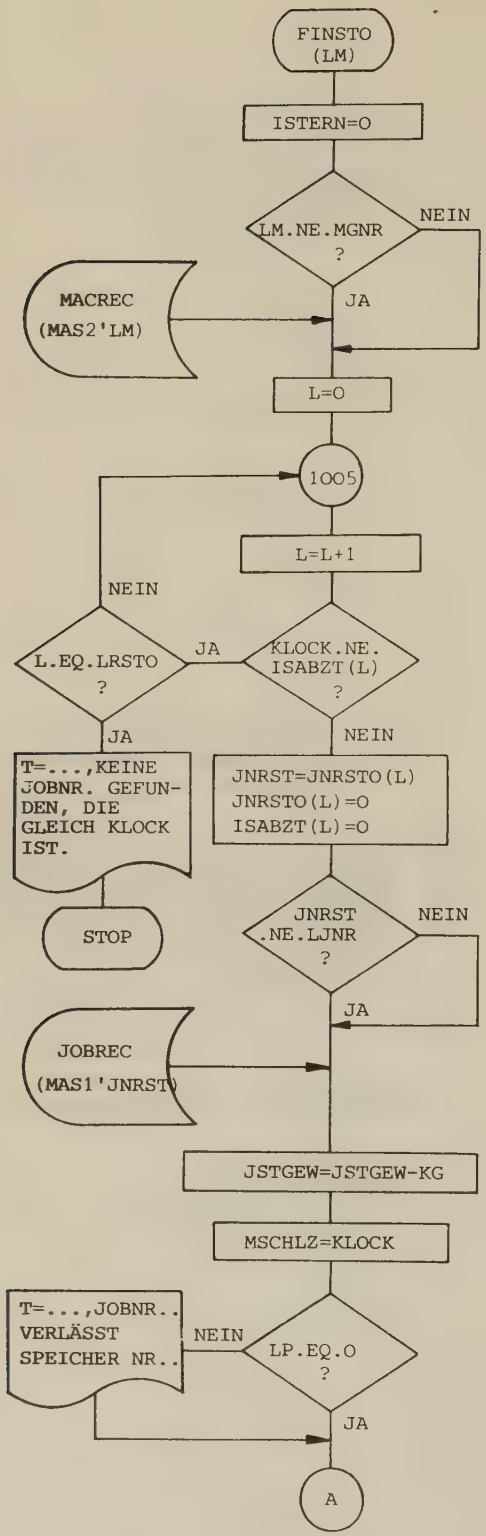
Maschinenstartzeit für Statistik festhalten

Plausibilitätstest: Richtige Maschinengruppe?

Gesamtzeitverbrauch des Auftrages aufsummieren, Maschinengruppennummer löschen. In Durchlaufzeit Startzeit des Auftrages auf der Maschine für Statistik eintragen.

Auftragsdaten zurückschreiben

Subroutine FINSTO



Maschinendaten einlesen, wenn nicht schone vorhanden

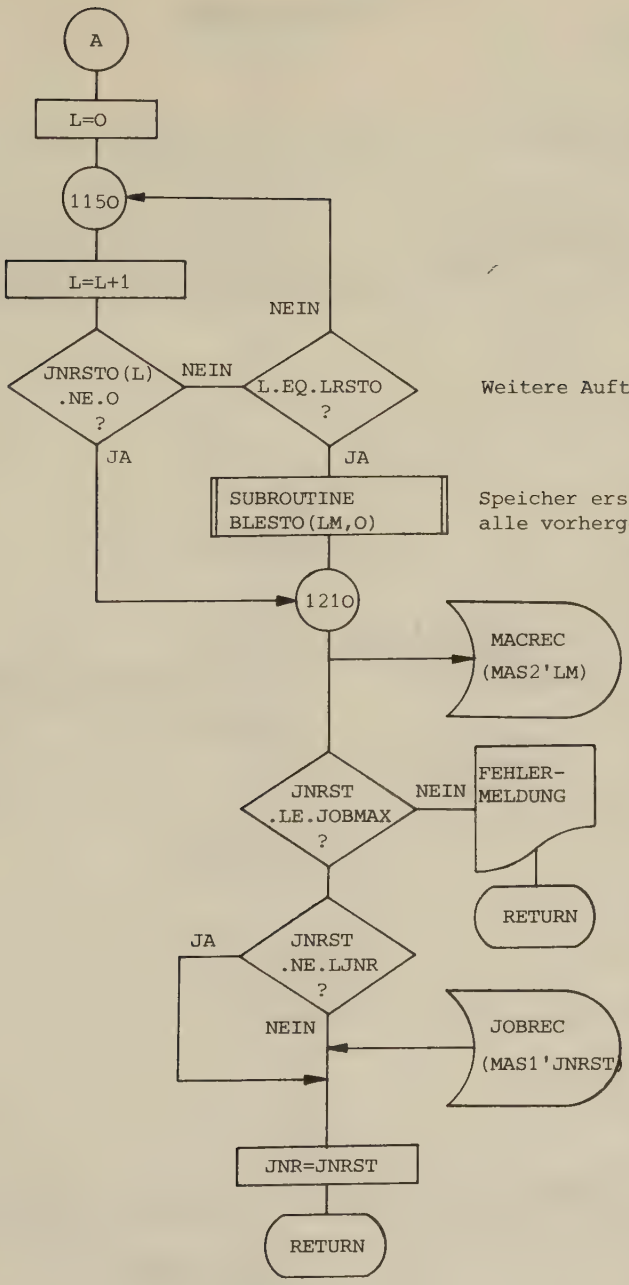
Entspricht die Fertigstellungs-zeit der Uhrzeit?

Auftragsnummer aus Speicher nehmen
Speicher an dieser Stelle löschen
Fertigstellungszeit löschen

Auftragsdaten einlesen, wenn nicht schon vorhanden

Gewicht des Auftrages von den auf-summierten Gewichten subtrahieren.

Speicherendzeit eintragen



Weitere Aufträge im Speicher?

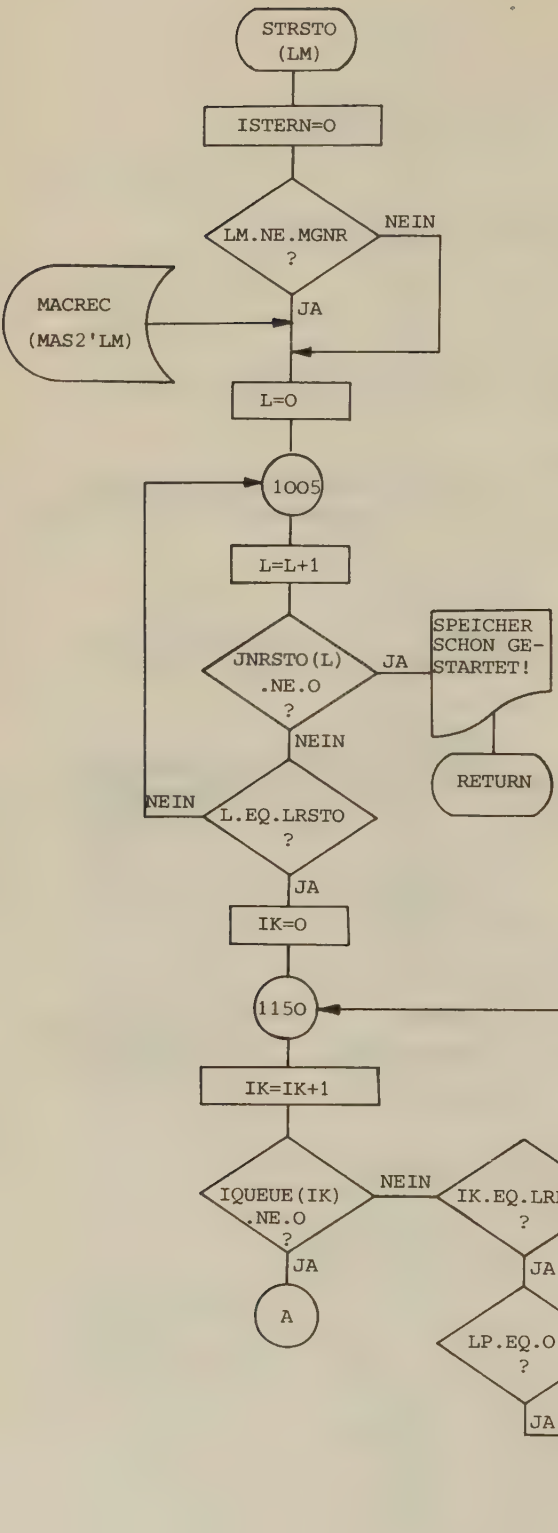
Speicher erst wieder belegen, wenn alle vorhergehenden Aufträge erledigt

Maschinendaten zurückschreiben

Plausibilitätstest: Auftragsnummer möglich?

Auftragsdaten einlesen, wenn nicht schon vorhanden

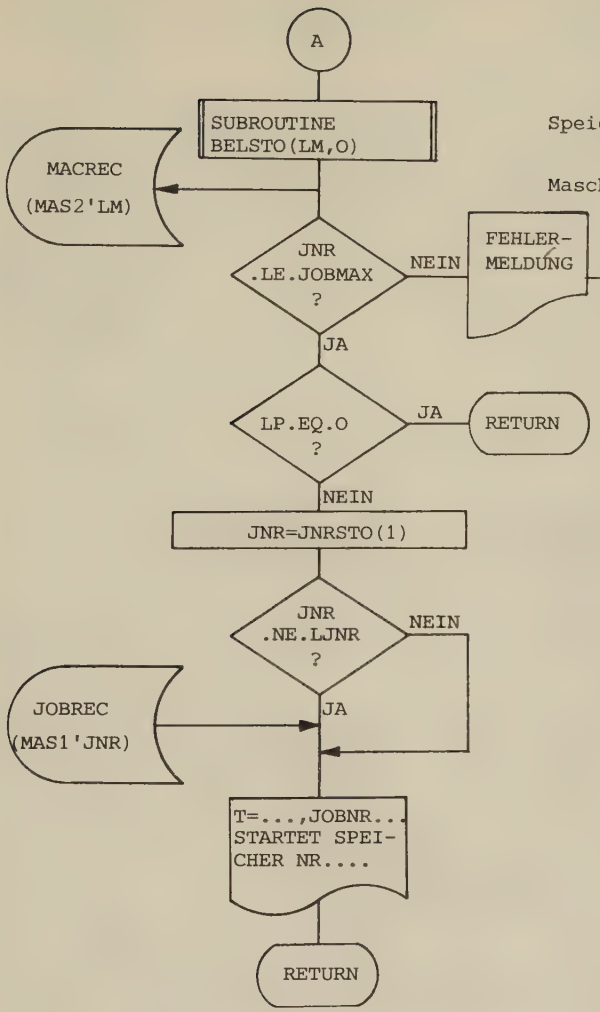
Subroutine STRSTO



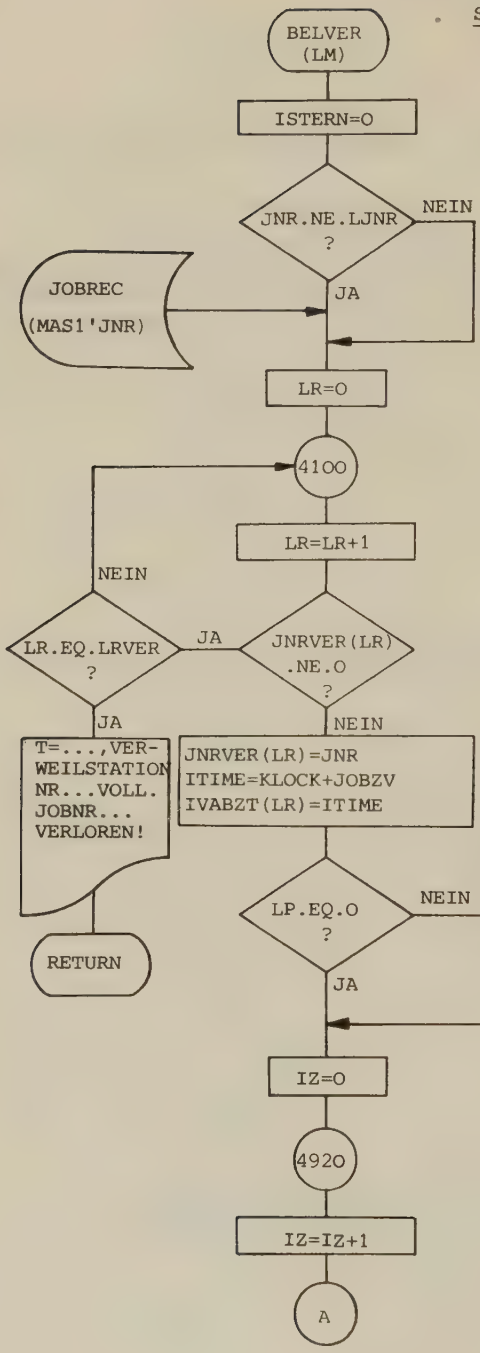
Maschinendaten des Speichers, der gestartet werden soll, einlesen, wenn nicht schon vorhanden

Sollte der Speicher schon belegt sein, dann wurde Speicher schon gestartet

Warteschlange nach einem Auftrag durchsuchen, der den Speicher starten soll


A
SUBROUTINE BELSTO(LM,O)
Speicher mit einem Auftrag belegen
MACREC (MAS2'LM)
Maschinendaten zurückschreiben
JNR .LE.JOBMAX ?
NEIN
FEHLER-MELDUNG
STOP
Plausibilitätstest: Auftragsnummer möglich?
JA
LP.EQ.O ?
JA
RETURN
NEIN
JNR=JNRSTO(1)
JNR .NE.LJNR ?
NEIN
JOBREC (MAS1'JNR)
JA
T=...,JOBNR... STARTET SPEI-CHER NR....
RETURN

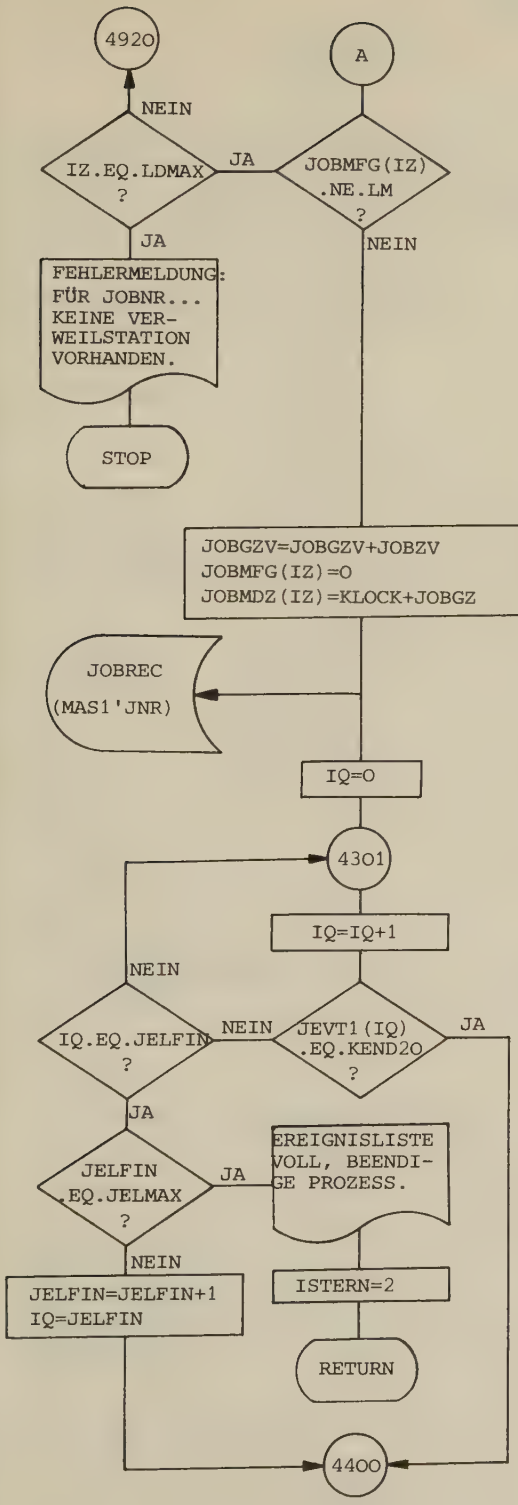
Subroutine BELVER



Auftragsdaten einlesen, wenn nicht schon vorhanden

Freier Platz in Verweilstation vorhanden?

Verweilstation belegen
Verarbeitungszeit zur Uhrzeit zählen
Fertigstellungszeit eintragen



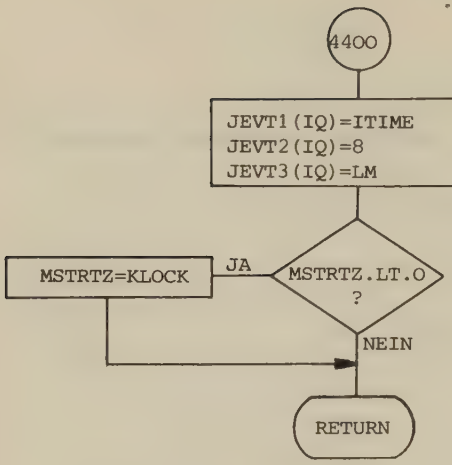
Richtige Maschinengruppennummer?

Gesamtbearbeitungszeit des Auftrages aufsummieren, Maschinengruppennummer löschen und Startzeit des Auftrages für Statistik festhalten.

Auftragsdaten zurückschreiben

Freier Platz in Ereignisliste?

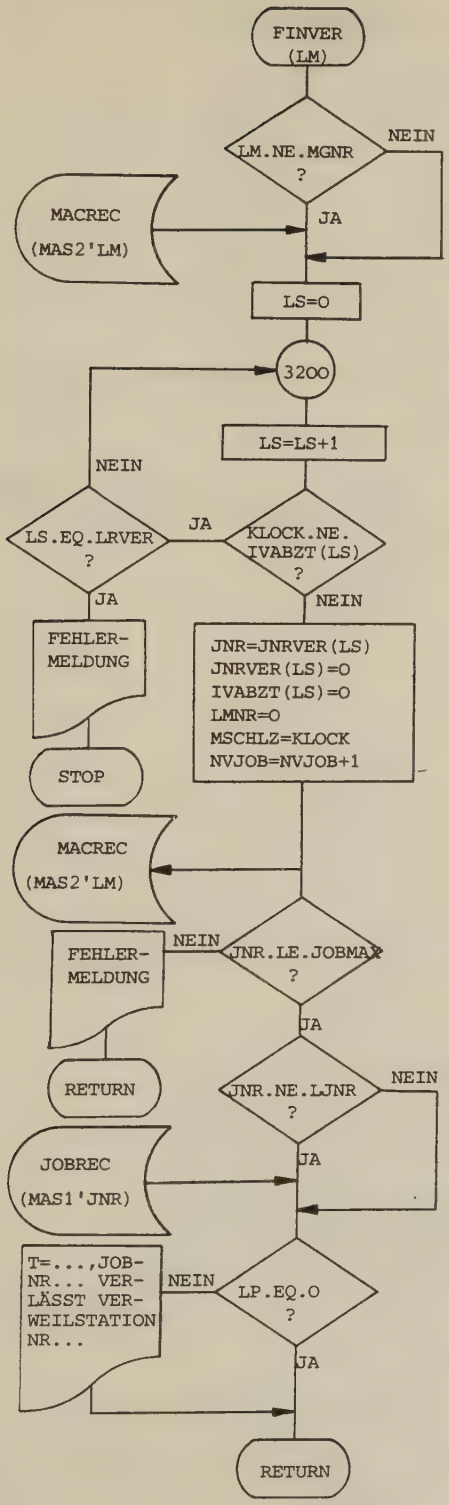
Ereignisliste verlängern



Fertigstellungszeit in Ereignisliste eintragen, Ereignis ist Fertigstellung auf einer Verweilstation, Maschinengruppennummer eintragen

Startzeit der Verweilstation merken

Subroutine FINVER



Maschinendaten einlesen, wenn nicht schon vorhanden

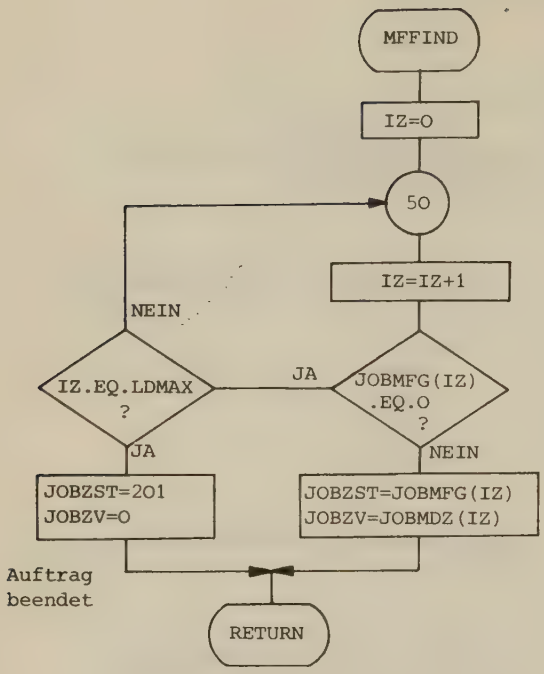
Fertigstellungszeit mit Uhrzeit vergleichen

Auftragsnummer der Verweilstation entnehmen, Feld an dieser Stelle löschen, Fertigstellungszeit löschen, Laufende Maschinennummer löschen, Schlusszeit der Verweilstation eintragen, Auftragszähler der verarbeiteten Aufträge erhöhen,

Auftragsdaten zurückschreiben

Plausibilitätstest: Auftragsnummer möglich?

Auftragsdaten einlesen, wenn nicht schon vorhanden

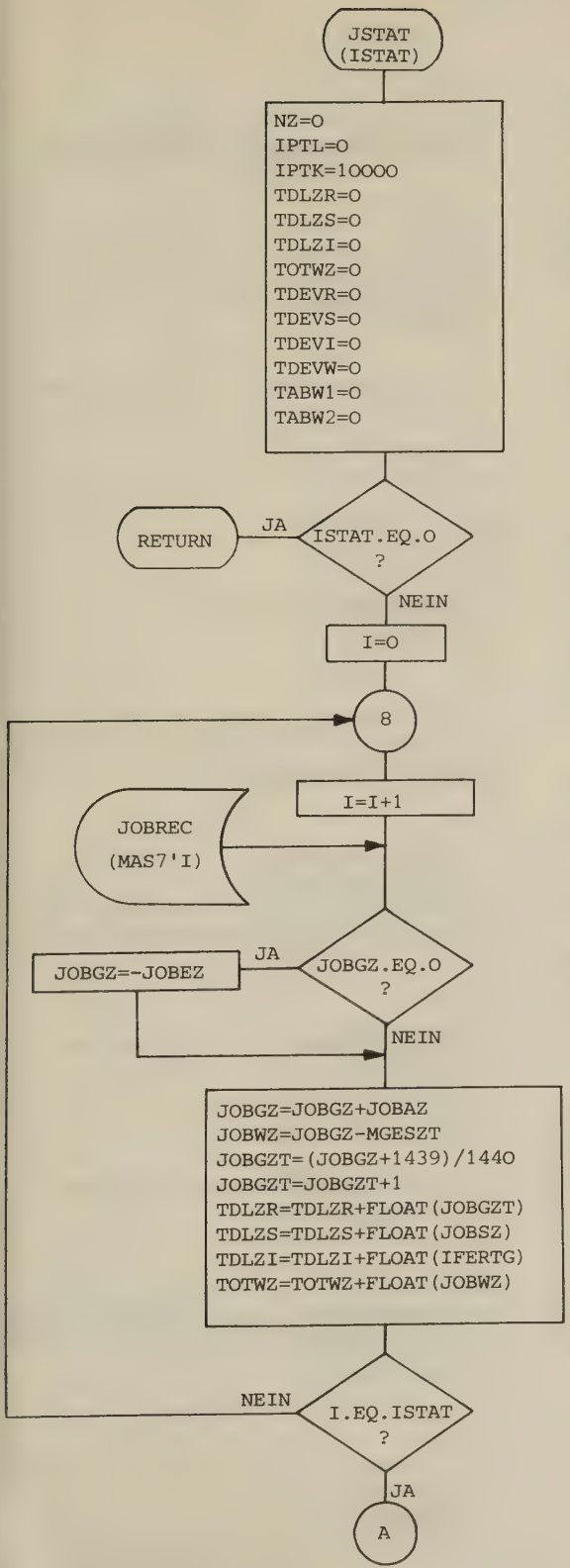


Subroutine MFFIND

Maschinengruppe schon bearbeitet?

Nächste zu bearbeitende Maschinengruppe
und Verarbeitungszeit festhalten

Subroutine JSTAT



INITIALISIERUNG:
Auftragszähler
Vergleichsvariable für längsten Auftrag
Vergleichsvariable für kürzesten Auftrag
Totale Durchlaufzeit (errechnet)
Totale Durchlaufzeit (Soll)
Totale Durchlaufzeit (Ist)
Totale Wartezeit

Zwischenvariable

Mittlere Terminabweichung zu Soll
Mittlere Terminabweichung zu Ist

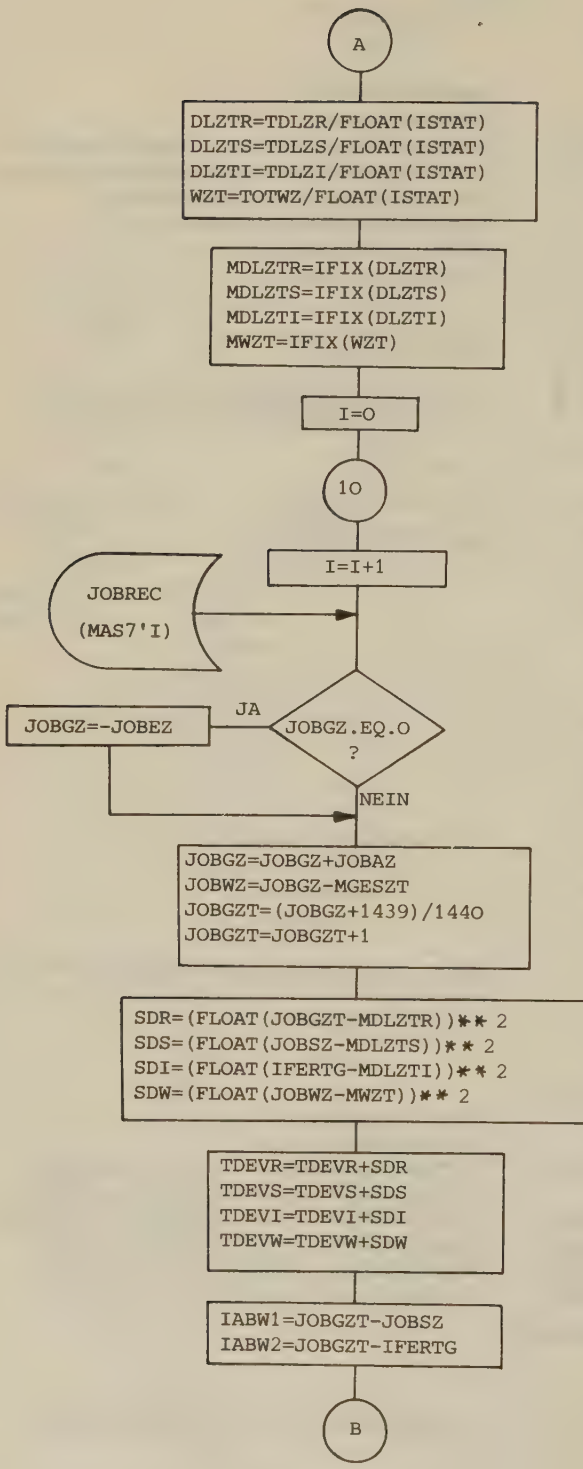
Statistik-File leer?

Auftragsdaten einlesen

Für 1. Arbeitstag eines Auftrages Zeit bis zum Eintritt ins Modell von der Gesamtzeit abziehen

Auftragsgesamtzeit
Auftragswartezeit
Auftragsgesamtzeit in Tage umrechnen
1 Tag für An- und Ablieferung addieren
Durchlaufzeit aller Aufträge (errechnet)
Durchlaufzeit aller Aufträge (Soll)
Durchlaufzeit aller Aufträge (Ist)
Wartezeit aller Aufträge (errechnet)

Ganzes Statistik-File Abgearbeitet?



Mittlere Durchlaufzeit berechnen

Mittlere Durchlaufzeit in Integer umwandeln

Auftragsdaten einlesen

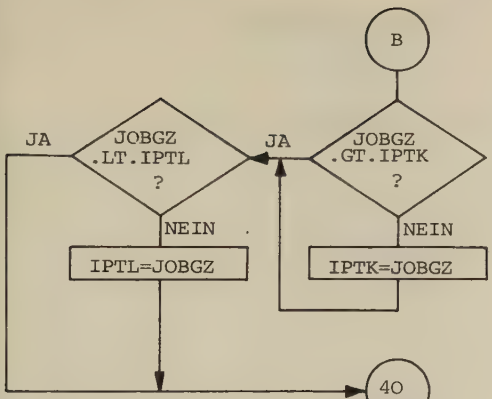
Für 1. Arbeitstag eines Auftrages Zeit bis zum Eintritt in das Modell von der Gesamtzeit abziehen.

Auftragsgesamtzeit
Auftragswartezeit
Auftragsgesamtzeit in Tage umrechnen
1 Tag für An- und Ablieferung addieren

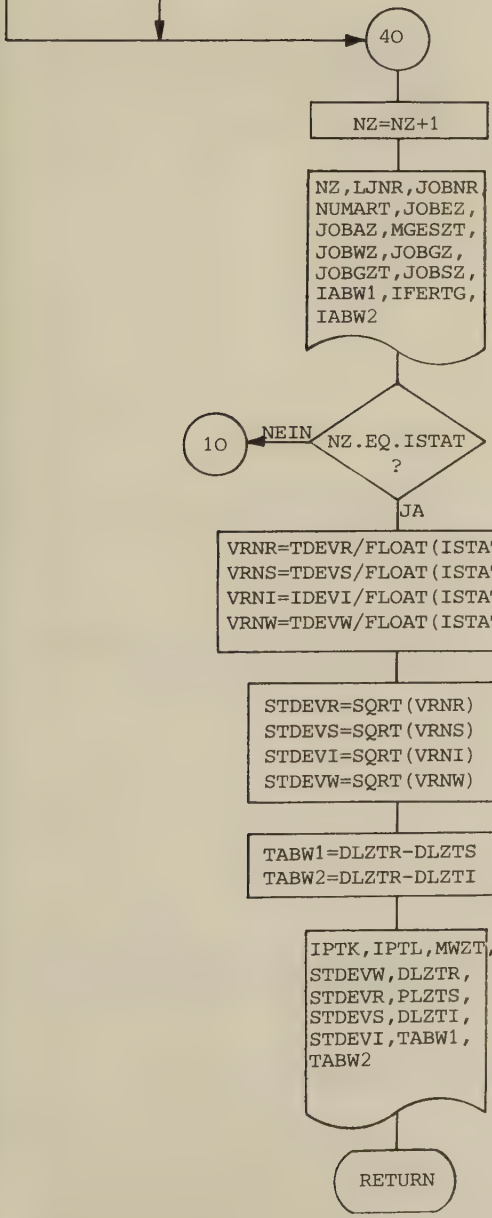
Hilfsvariable zur Berechnung der Varianz

Hilfsvariable zur Berechnung der Varianz

Abweichung des Einzelauftrages zu Soll
Abweichung des Einzelauftrages zu Ist



Auftrag mit kürzester bzw. längster Laufzeit bestimmen



Laufnummer, interne Auftragsnummer, Auftragsnummer, Artikelnummer, Eintrittszeit, Abtrittszeit, gesamte Maschinenzeit, gesamte Wartezeit, Gesamtzeit in Minuten und in Tagen, Sollzeit, Abweichung zu Sollzeit, tatsächliche Fertigstellungszeit und Abweichung dazu.

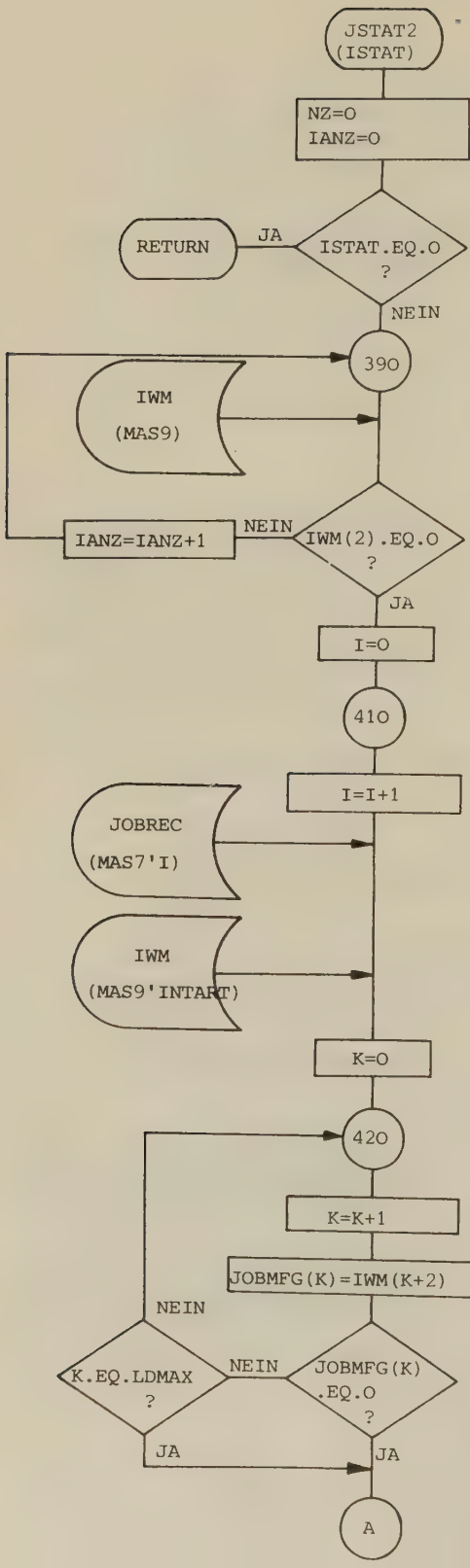
Ganzes Statistik-File bearbeitet?

Varianzen

Standardabweichungen

Mittlere Terminabweichung zu Soll
Mittlere Terminabweichung zu Ist

Kürzester und längster Auftrag, mittlere Wartezeit aller Aufträge und Standardabweichung, Durchlaufzeit und Standardabweichung für errechnete Soll- und Ist-Werte.



Subroutine JSTAT2

Zähler initialisieren

Statistik-File leer?

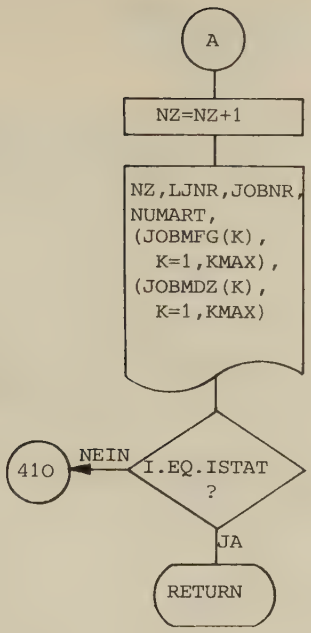
Waren-Maschinendurchlauf-File ein lesen und Records für Direkt-Zugriff zählen.

Auftragsdaten aus Statistik-File einlesen. Startzeiten befinden sich in Feld JOBMDZ

Zur Artikelnummer gehörige Waren-Maschinendurchlaufdaten lesen

Maschinenfolge des Auftrages aus Waren-Maschinendurchlaufdaten holen

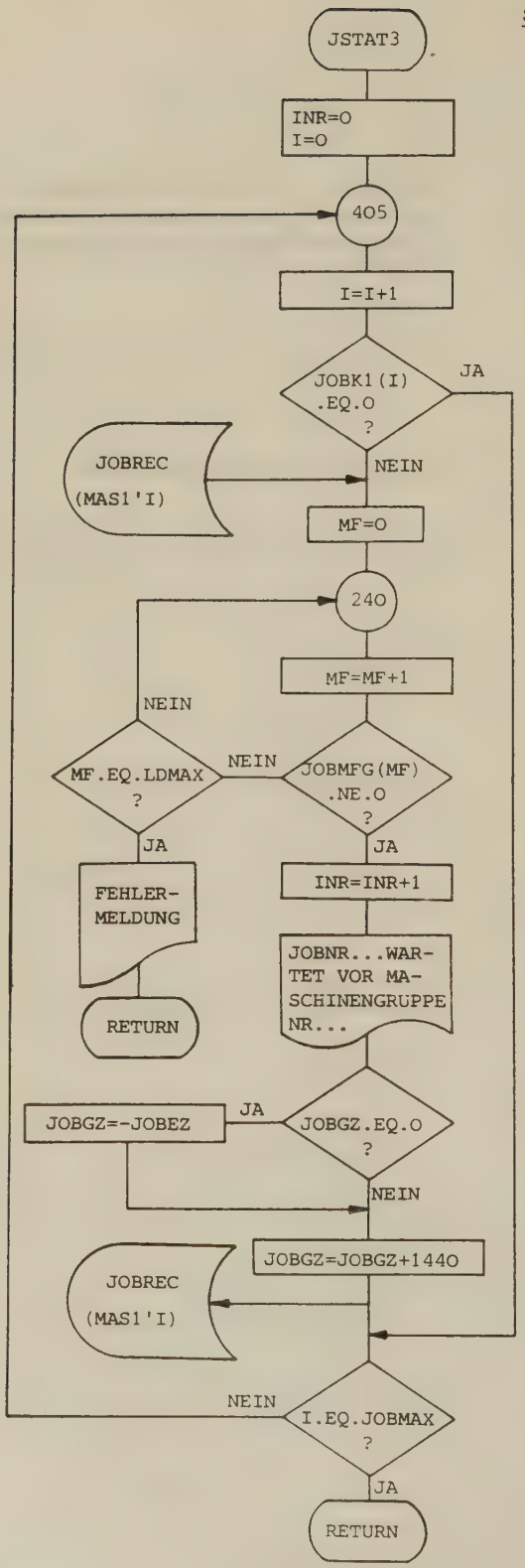
Letzte Maschine?



Laufnummer, interne Auftragsnummer, Auftragsnummer, Artikelnummer, Maschinenfolge und Startzeiten auf den Maschinen ausdrucken

Für alle Aufträge durchgeführt?

Subroutine JSTAT3



Kein Auftrag in der Auftragsliste?

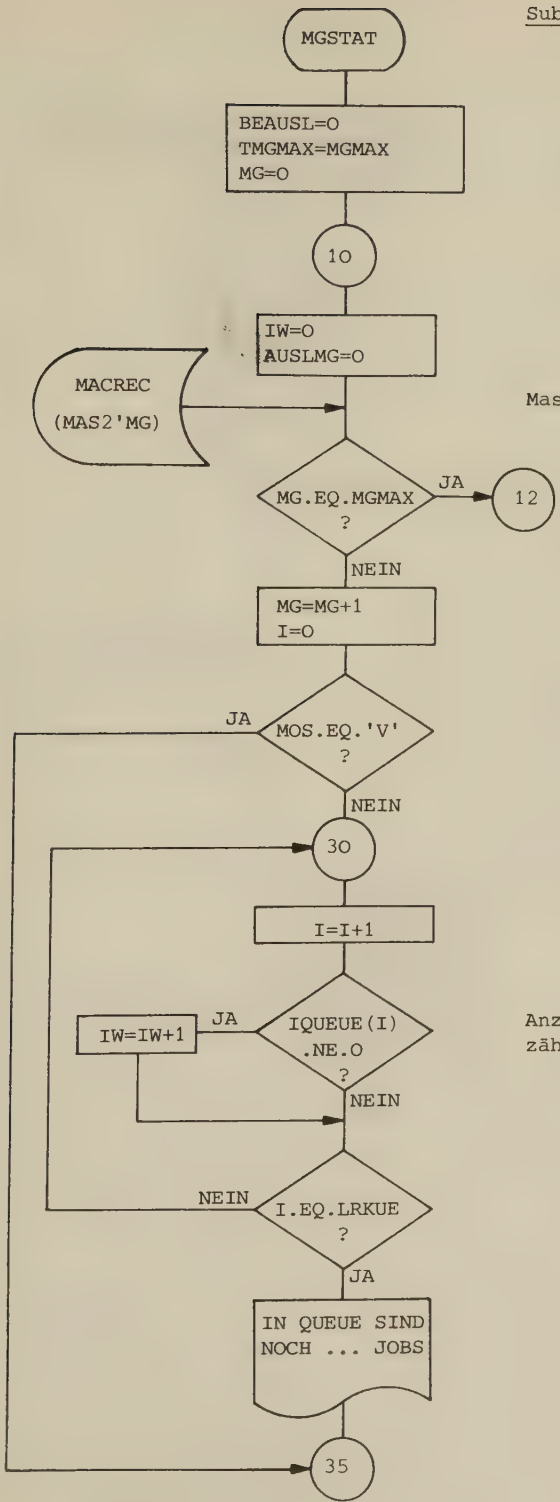
Auftragsdaten einlesen

Auftrag wartet vor 1. Maschinengruppe, die nicht gleich null ist

Für ersten Bearbeitungstag Eintrittszeit subtrahieren

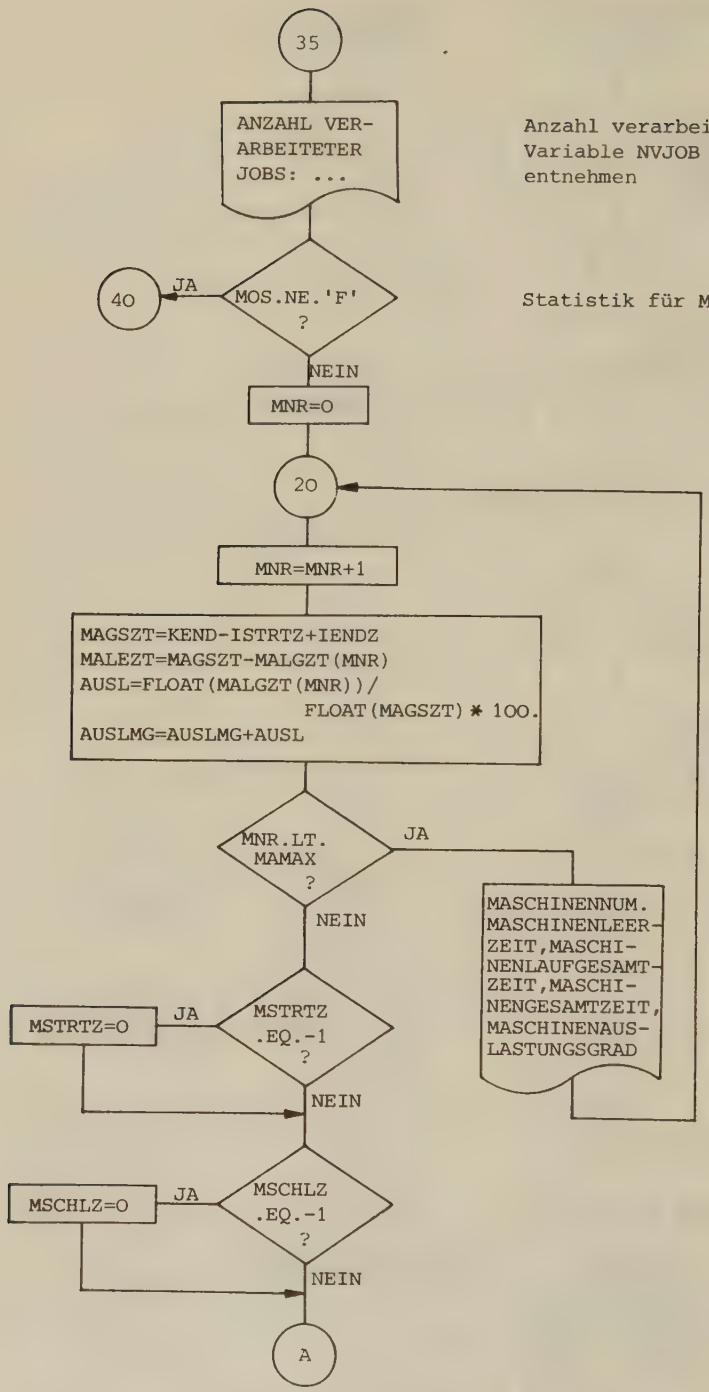
Auftragsgesamtzeit um einen Arbeitstag erhöhen

Subroutine MGSTAT



Maschinendaten einlesen

Anzahl Aufträge in Warteschlange zählen



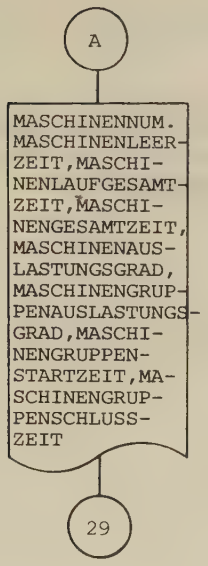
Anzahl verarbeiteter Aufträge aus Variable NVJOB im COMMON-Bereich entnehmen

Statistik für Maschine

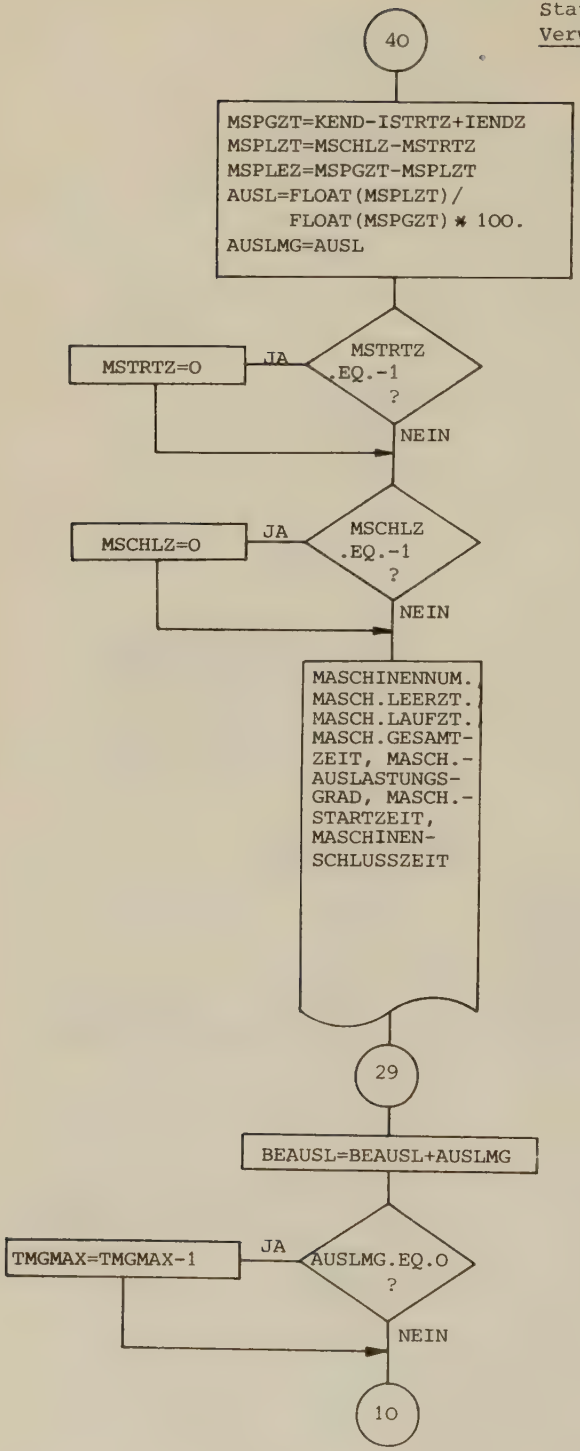
Maschinengesamtzeit
Maschinenleerzeit
Maschinenauslastungsgrad

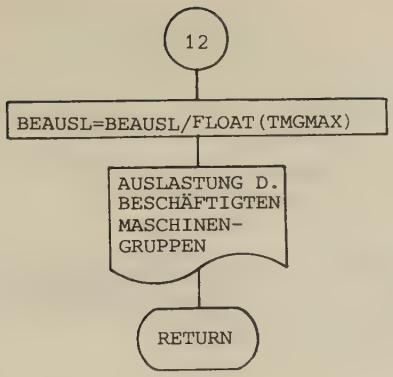
Maschinengruppenauslastungsgrad

Wenn Maschine nicht gestartet:

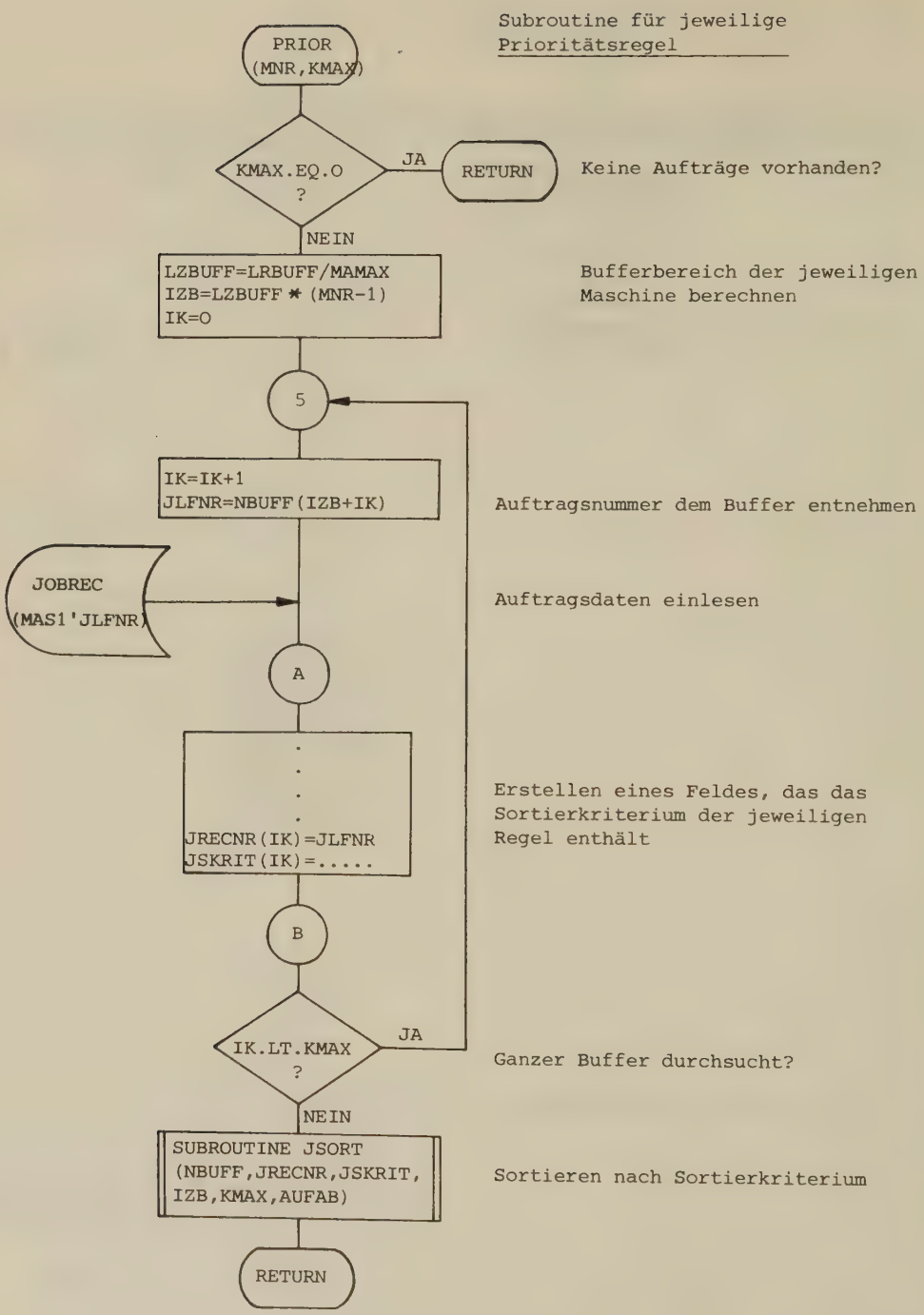

A
MASCHINENNUM.
MASCHINENLEER-
ZEIT,MASCHI-
NENLAUFGESAMT-
ZEIT,MASCHI-
NENGESAMTZEIT,
MASCHINENAUS-
LASTUNGSGRAD,
MASCHINENGRUP-
PENAUSLASTUNGS-
GRAD,MASCHI-
NENGRUPPEN-
STARTZEIT,MA-
SCHINENGRUP-
PENSCHLUSS-
ZEIT
29

Statistik für Speicher und Verweilstation

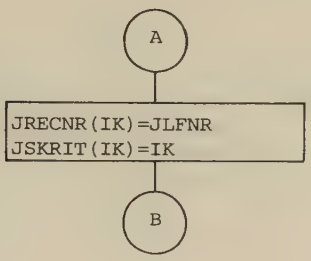




Auslastungsgrad der beschäftigten Maschinengruppen des Betriebes


Subroutine für jeweilige Prioritätsregel
PRIOR (MNR,KMAX)
KMAX.EQ.O ?
JA
RETURN
Keine Aufträge vorhanden?
NEIN
LZBUFF=LRBUFF/MAMAX
IZB=LZBUFF * (MNR-1)
IK=O
Bufferbereich der jeweiligen Maschine berechnen
5
IK=IK+1
JLFNR=NBUFF(IZB+IK)
Auftragsnummer dem Buffer entnehmen
JOBREC (MAS1'JLFNR)
Auftragsdaten einlesen
A
JRECNR(IK)=JLFNR
JSKRIT(IK)=.....
Erstellen eines Feldes, das das Sortierkriterium der jeweiligen Regel enthält
B
IK.LT.KMAX ?
JA
Ganzer Buffer durchsucht?
NEIN
SUBROUTINE JSORT (NBUFF,JRECNR,JSKRIT, IZB,KMAX,AUFAB)
Sortieren nach Sortierkriterium
RETURN

FCFS und LCFS - First come bzw. last come, first served

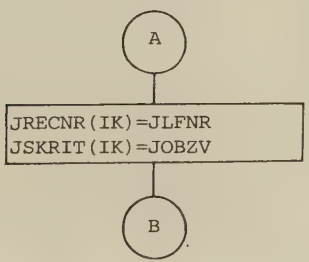


Sortierkriterium ist der Auftragszähler

FCFS: Auftragszähler wird aufsteigend sortiert

LCFS: Auftragszähler wird absteigend sortiert

KOZ und LOZ - Kürzeste bzw. längste Operationszeit



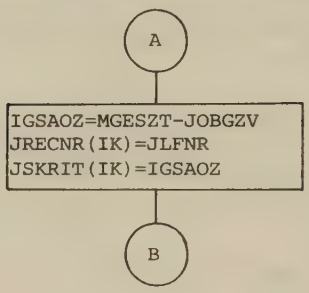
Sortierkriterium ist die Bearbeitungszeit

KOZ: Die Werte des Sortierkriteriums werden aufsteigend sortiert

LOZ: Die Werte des Sortierkriteriums werden absteigend sortiert

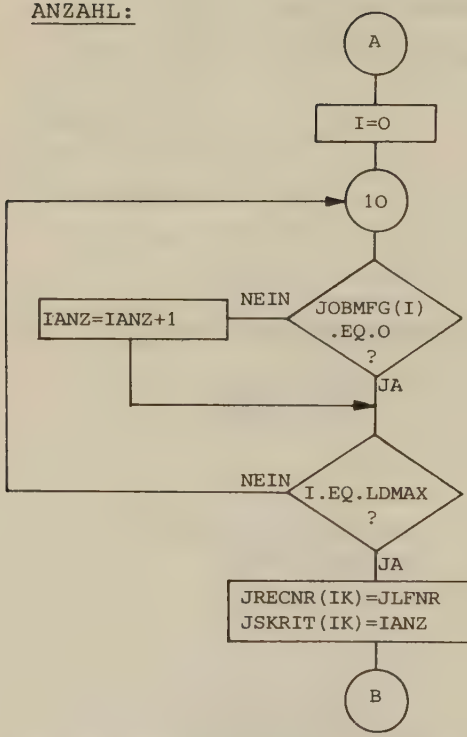
GSAOZ und ANZAHL - Grösste Summe bzw. grösste Anzahl der ausstehenden Operationszeiten

GSAOZ:



Sortierkriterium ist die Differenz zwischen der ganzen und der bisher verbrauchten Maschinenzeit eines Auftrages

ANZAHL:



Noch zu durchlaufende Maschinengruppen zählen

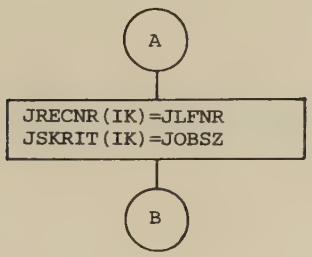
Ganzes Feld JOBMFG durchsucht?

Sortierkriterium ist die Anzahl der noch ausstehenden Operationszeiten

GSAOZ: Die Werte des Sortierkriteriums werden absteigend sortiert

ANZAHL: Die Werte des Sortierkriteriums werden absteigend sortiert

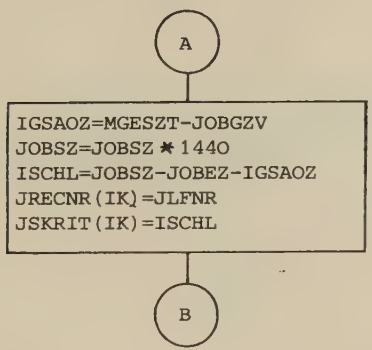
TERMIN - Kleinster Soll-Fertigstellungstermin



Sortierkriterium ist der Soll-Fertigstellungstermin

Das Sortierkriterium wird aufsteigend sortiert

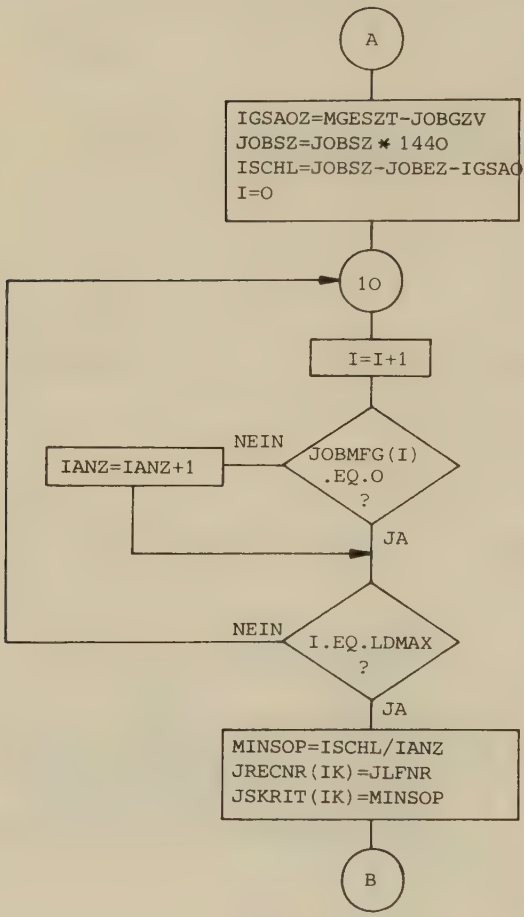
SCHLPF - Kleinste Schlupfzeit



Grösste Summe ausstehender Operationszeiten, Sollzeit auf Minuten umrechnen, Sortierkriterium ist Soll-Fertigstellungszeit minus Eintrittszeit minus grösste Summe ausstehender Operationszeiten

Die Werte des Sortierkriteriums werden aufsteigend sortiert

Kombinierte Regel MINSOP nach Le Grande



Grösste Summe ausstehender Operationszeiten, Sollzeit in Minuten umrechnen, Schlupfzeit berechnen

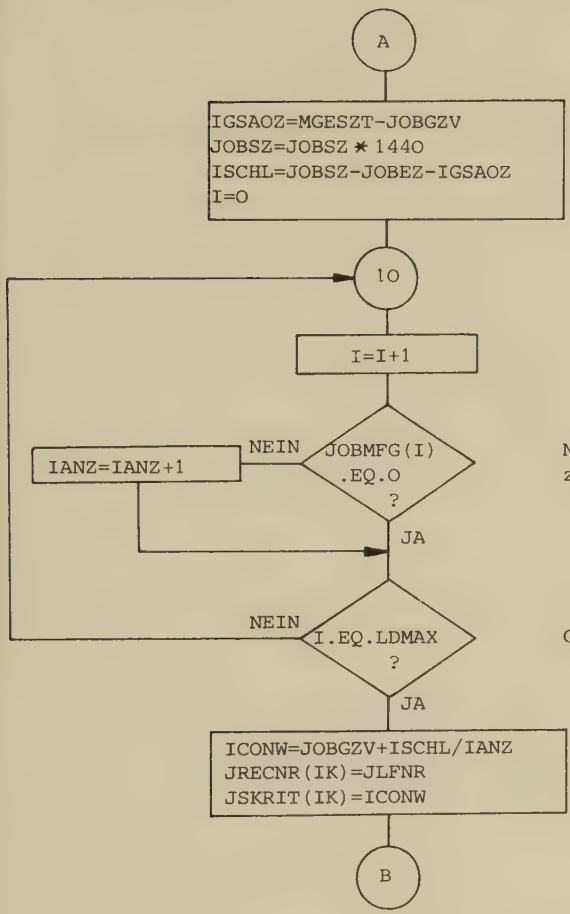
Noch zu durchlaufende Maschinengruppen zählen

Ganzes Feld JOBMFG durchsucht?

Sortierkriterium ist die Schlupfzeit pro Restoperation

Die Werte des Sortierkriteriums werden aufsteigend sortiert

Kombinierte Regel CONWAY nach Conway



Grösste Summe ausstehender Operationszeiten, Sollzeit in Minuten umrechnen, Schlupfzeit berechnen

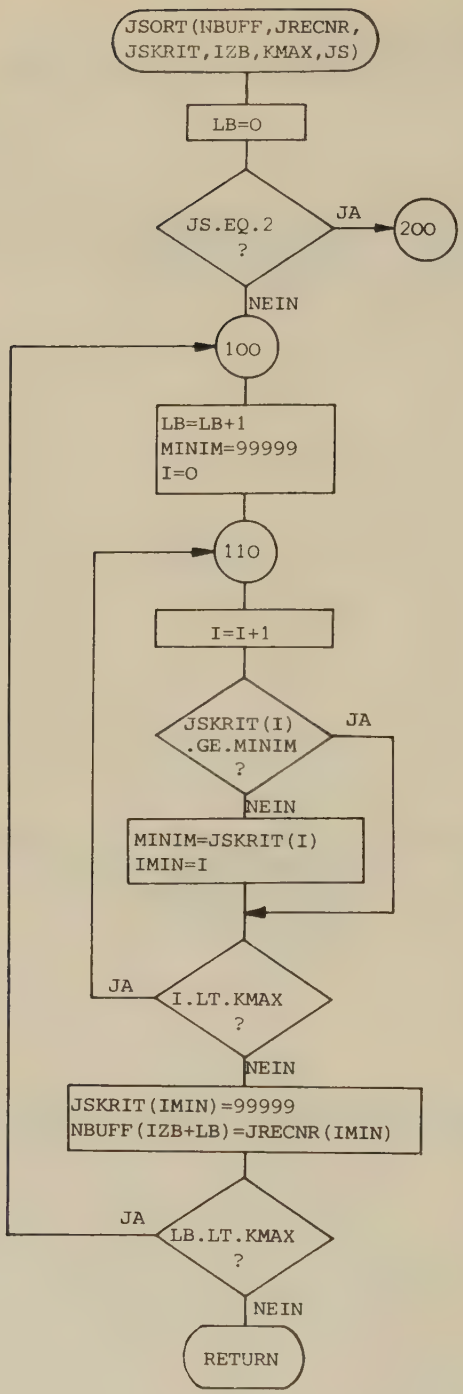
Noch zu durchlaufende Maschinengruppen zählen

Ganzes Feld JOBMFG durchsucht?

Sortierkriterium ist die Summe der Bearbeitungszeiten plus der Schlupfzeit pro Restoperation

Die Werte des Sortierkriteriums werden aufsteigend sortiert

Subroutine JSORT

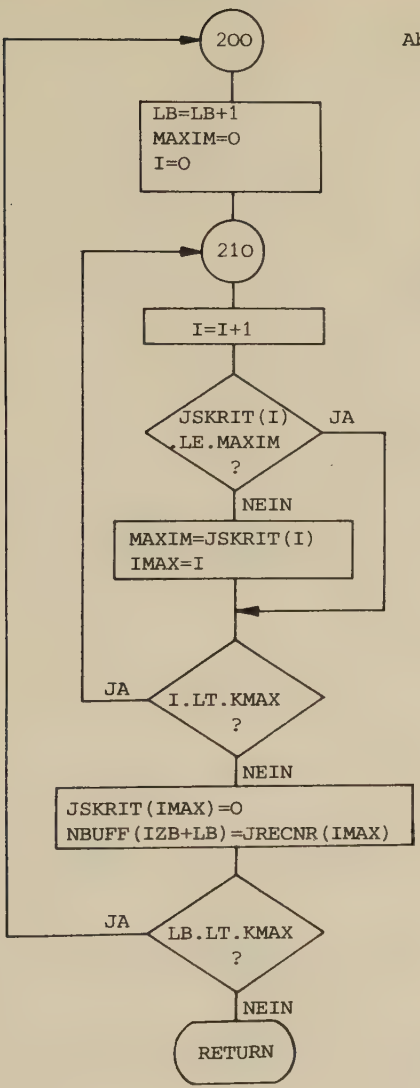


Auf- oder absteigend sortieren?

Aufsteigend sortieren

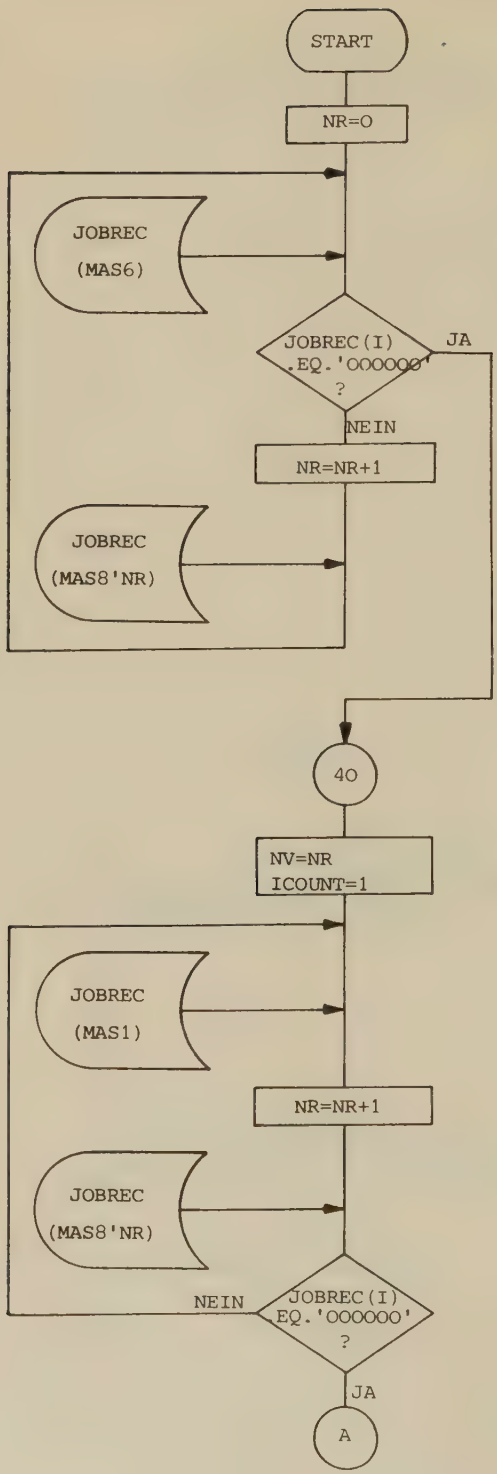
Auftragsnummer in sortierter Folge in Feld NBUFF schreiben

Alle Aufträge sortiert?



Absteigend sortieren

Auftragsnummer in sortierter Folge in Feld NBUFF schreiben



Programm INFILE

Auftragsdaten der Vortage einlesen

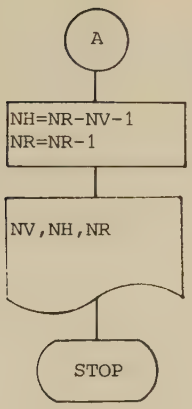
End of File erreicht?

Auftragsdaten in heutiges Auftrags-daten-File INFILE schreiben

Auftragsdaten von heute einlesen

Auftragsdaten in heutiges Auftrags-daten-File INFILE schreiben

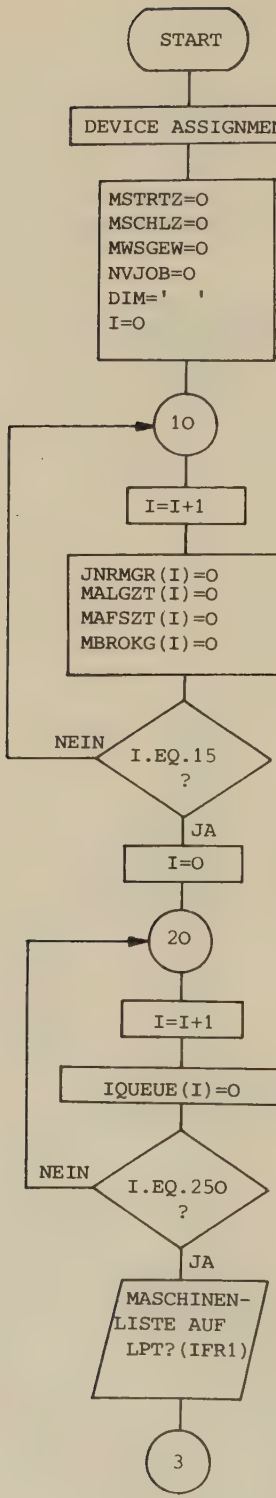
End of File erreicht?



Anzahl Aufträge von heute
Anzahl Aufträge gesamt

Anzahl Aufträge vor Inputqueue
Anzahl Aufträge von heute
Anzahl Aufträge gesamt

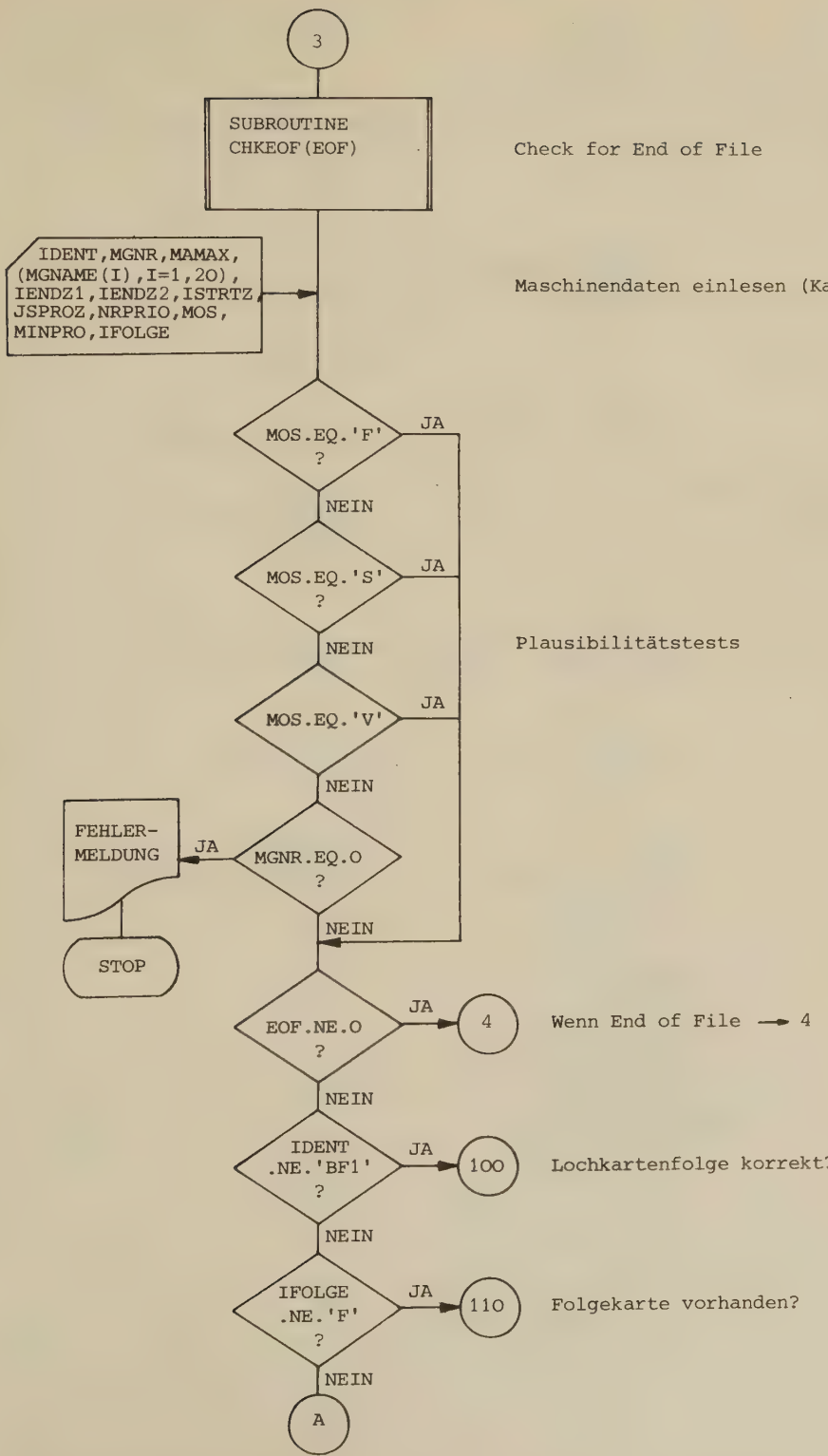
Programm FACSET

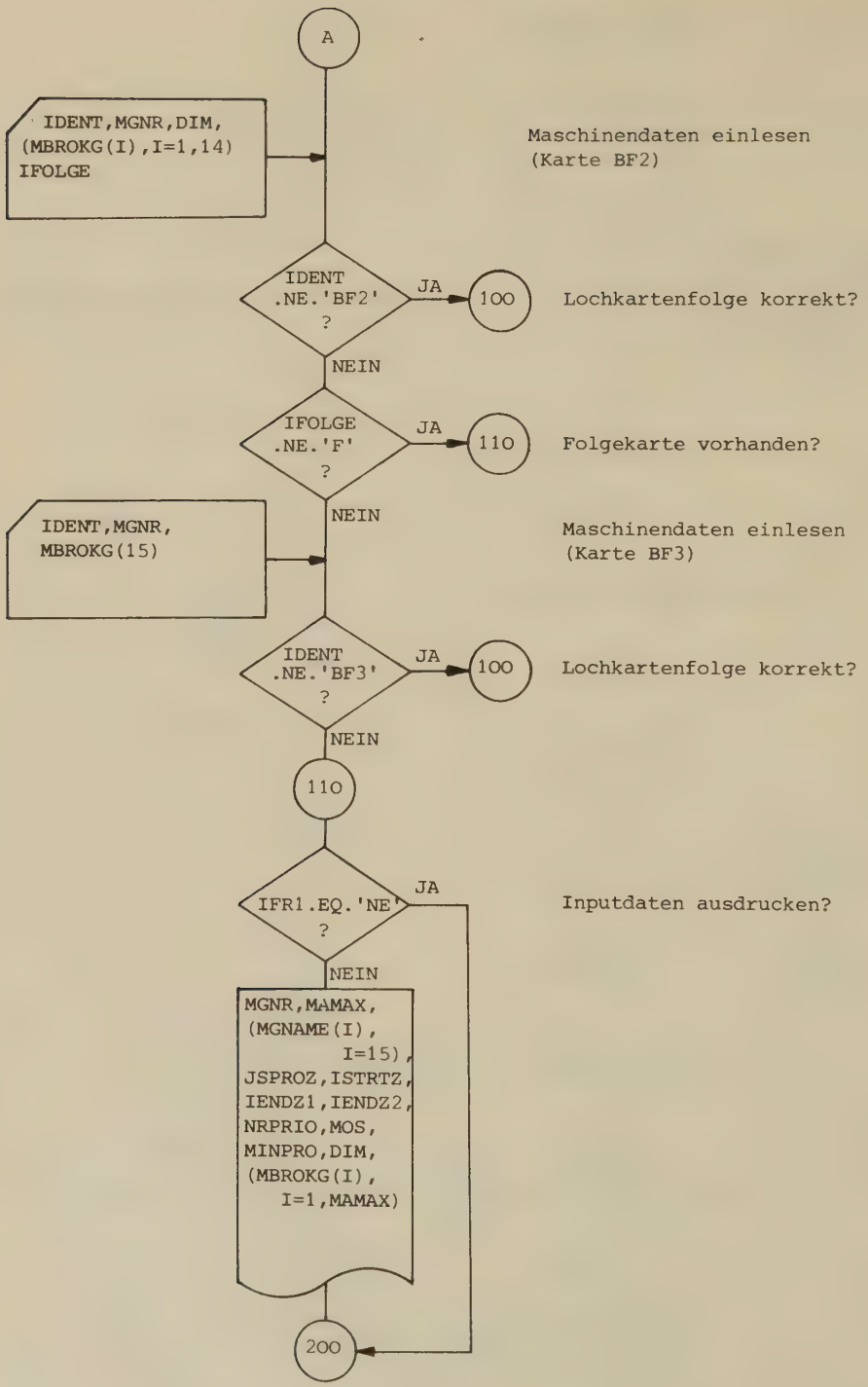


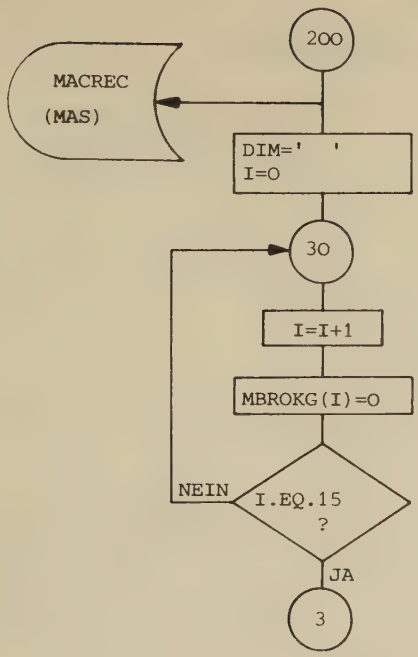
Variablen-Initialisierung

Variablen-Initialisierung

Warteschlange initialisieren


3
SUBROUTINE CHKEOF(EOF)
Check for End of File
IDENT,MGNR,MAMAX,
(MGNAME(I),I=1,20),
IENDZ1,IENDZ2,ISTRTZ,
JSPROZ,NRPRIO,MOS,
MINPRO,IFOLGE
Maschinendaten einlesen (Karte BF1)
MOS.EQ.'F' ?
JA
NEIN
MOS.EQ.'S' ?
JA
NEIN
Plausibilitätstests
MOS.EQ.'V'
JA
NEIN
FEHLER-MELDUNG
JA
MGNR.EQ.O ?
NEIN
STOP
EOF.NE.O ?
JA
4
Wenn End of File → 4
NEIN
IDENT .NE.'BF1' ?
JA
100
Lochkartenfolge korrekt?
NEIN
IFOLGE .NE.'F' ?
JA
110
Folgekarte vorhanden?
NEIN
A

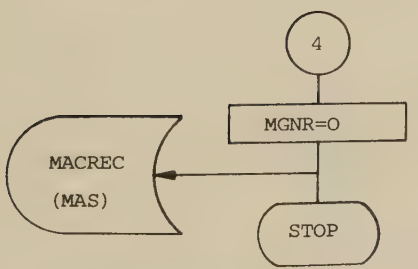

A
IDENT,MGNR,DIM,
(MBROKG(I),I=1,14)
IFOLGE
Maschinendaten einlesen
(Karte BF2)
IDENT
.NE.'BF2'
?
JA
100
Lochkartenfolge korrekt?
NEIN
IFOLGE
.NE.'F'
?
JA
110
Folgekarte vorhanden?
NEIN
IDENT,MGNR,
MBROKG(15)
Maschinendaten einlesen
(Karte BF3)
IDENT
.NE.'BF3'
?
JA
100
Lochkartenfolge korrekt?
NEIN
110
IFR1.EQ.'NE'
?
JA
Inputdaten ausdrucken?
NEIN
MGNR,MAMAX,
(MGNAME(I),
I=15),
JSPROZ,ISTRTZ,
IENDZ1,IENDZ2,
NRPRIO,MOS,
MINPRO,DIM,
(MBROKG(I),
I=1,MAMAX)
200



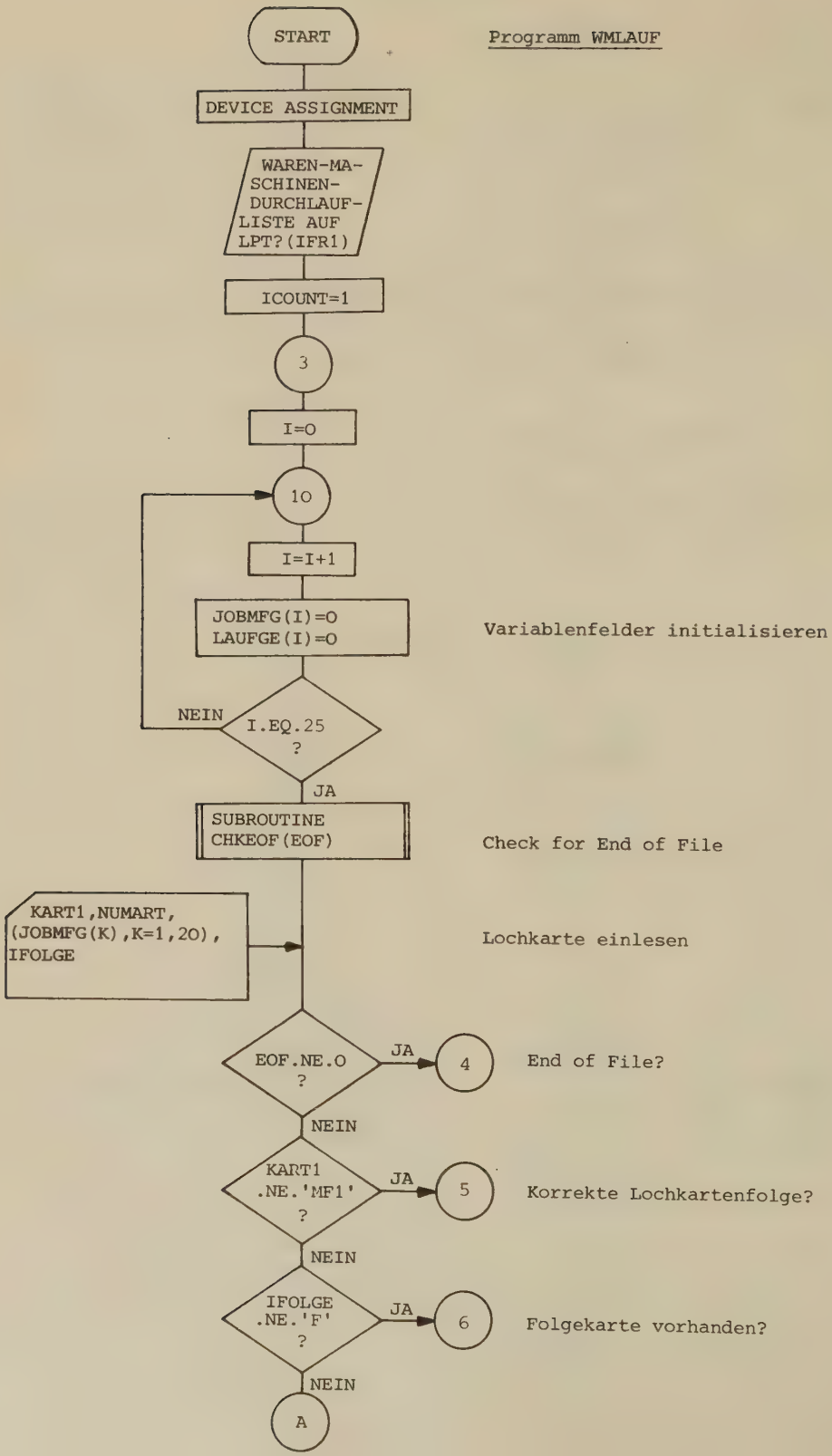
Maschinendaten auf Plattenspeicher schreiben

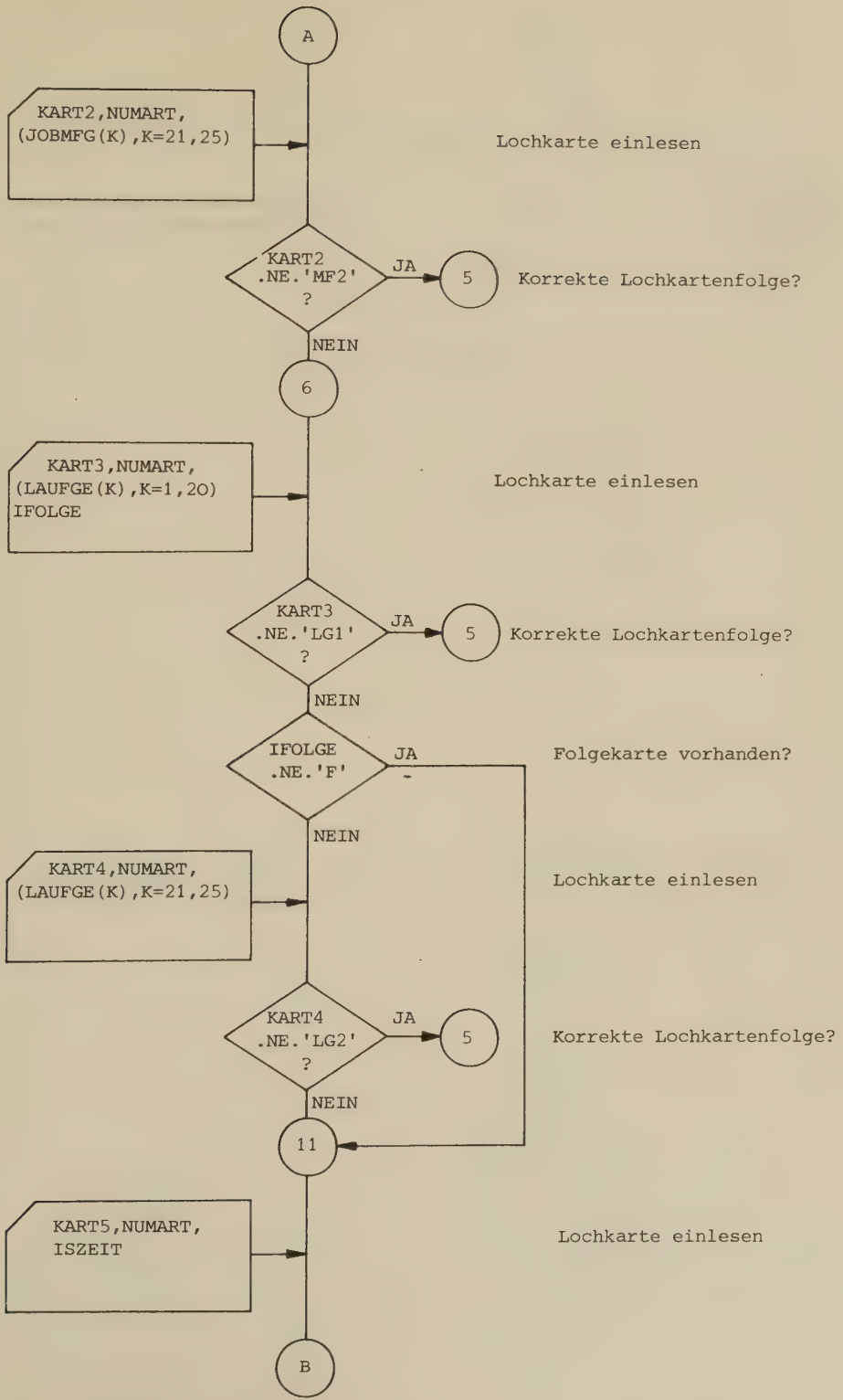
Variablen reinitialisieren

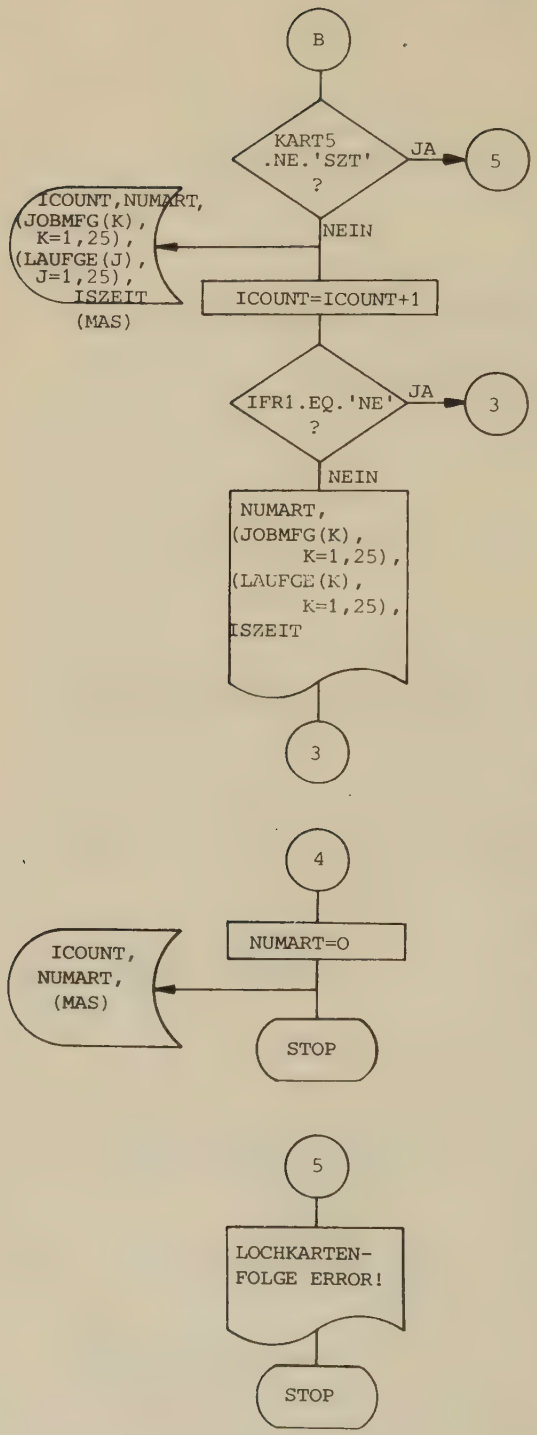
Fehlermeldung



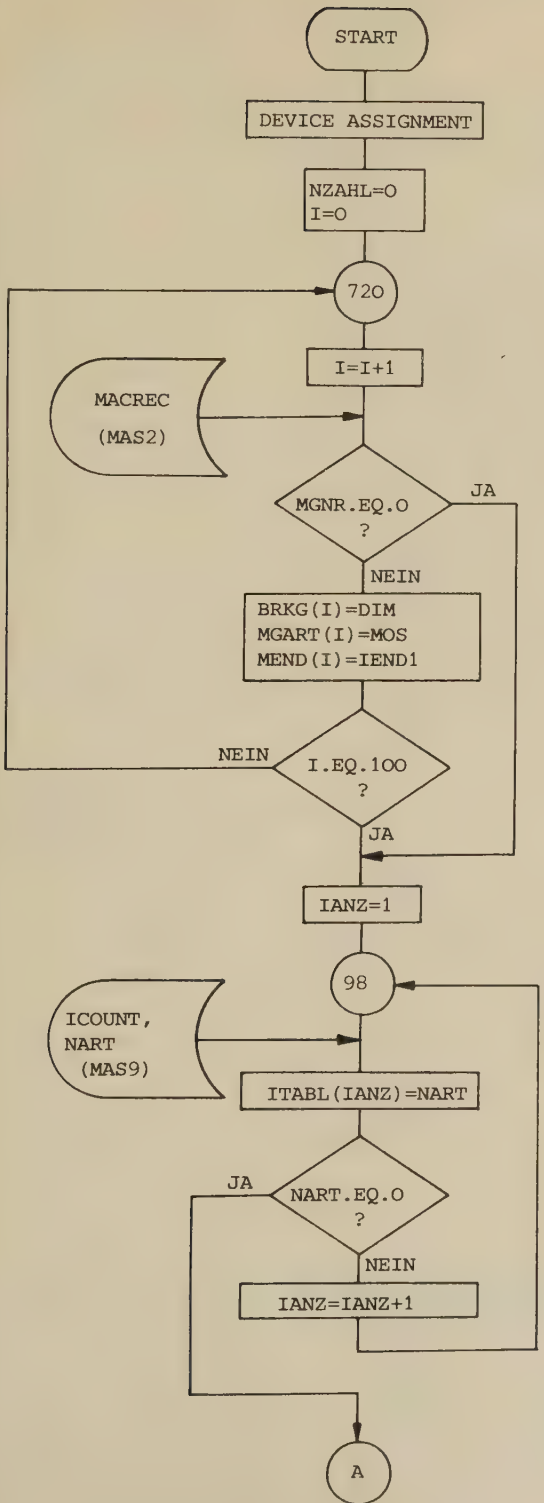
Null-Record als EOF auf Platte schreiben


START
Programm WMLAUF
DEVICE ASSIGNMENT
WAREN-MA-
SCHINEN-
DURCHLAUF-
LISTE AUF
LPT?(IFR1)
ICOUNT=1
3
I=0
10
I=I+1
JOBMFG(I)=0
LAUFGE(I)=0
Variablenfelder initialisieren
NEIN
I.EQ.25
?
JA
SUBROUTINE
CHKEOF(EOF)
Check for End of File
KART1,NUMART,
(JOBMFG(K),K=1,20),
IFOLGE
Lochkarte einlesen
EOF.NE.0
?
JA
4
End of File?
NEIN
KART1
.NE.'MF1'
?
JA
5
Korrekte Lochkartenfolge?
NEIN
IFOLGE
.NE.'F'
?
JA
6
Folgekarte vorhanden?
NEIN
A


A
KART2,NUMART,
(JOBMFG(K),K=21,25)
Lochkarte einlesen
KART2
.NE.'MF2'
?
JA
5
Korrekte Lochkartenfolge?
NEIN
6
KART3,NUMART,
(LAUFGE(K),K=1,20)
IFOLGE
Lochkarte einlesen
KART3
.NE.'LG1'
?
JA
5
Korrekte Lochkartenfolge?
NEIN
IFOLGE
.NE.'F'
JA
Folgekarte vorhanden?
NEIN
KART4,NUMART,
(LAUFGE(K),K=21,25)
Lochkarte einlesen
KART4
.NE.'LG2'
?
JA
5
Korrekte Lochkartenfolge?
NEIN
11
KART5,NUMART,
ISZEIT
Lochkarte einlesen
B


B
KART5
.NE.'SZT'
?
JA
5
Korrekte Lochkartenfolge?
ICOUNT,NUMART,
(JOBMFG(K),
K=1,25),
(LAUFGE(J),
J=1,25),
ISZEIT
(MAS)
NEIN
Waren-Maschinen-Durchlaufdaten
auf Massenspeicher schreiben
ICOUNT=ICOUNT+1
IFR1.EQ.'NE'
?
JA
3
Output drucken?
NEIN
NUMART,
(JOBMFG(K),
K=1,25),
(LAUFGE(K),
K=1,25),
ISZEIT
3
4
NUMART=0
ICOUNT,
NUMART,
(MAS)
STOP
Null-Record als EOF-Kriterium
auf Massenspeicher schreiben
5
LOCHKARTEN-
FOLGE ERROR!
STOP

Programm JOBSET



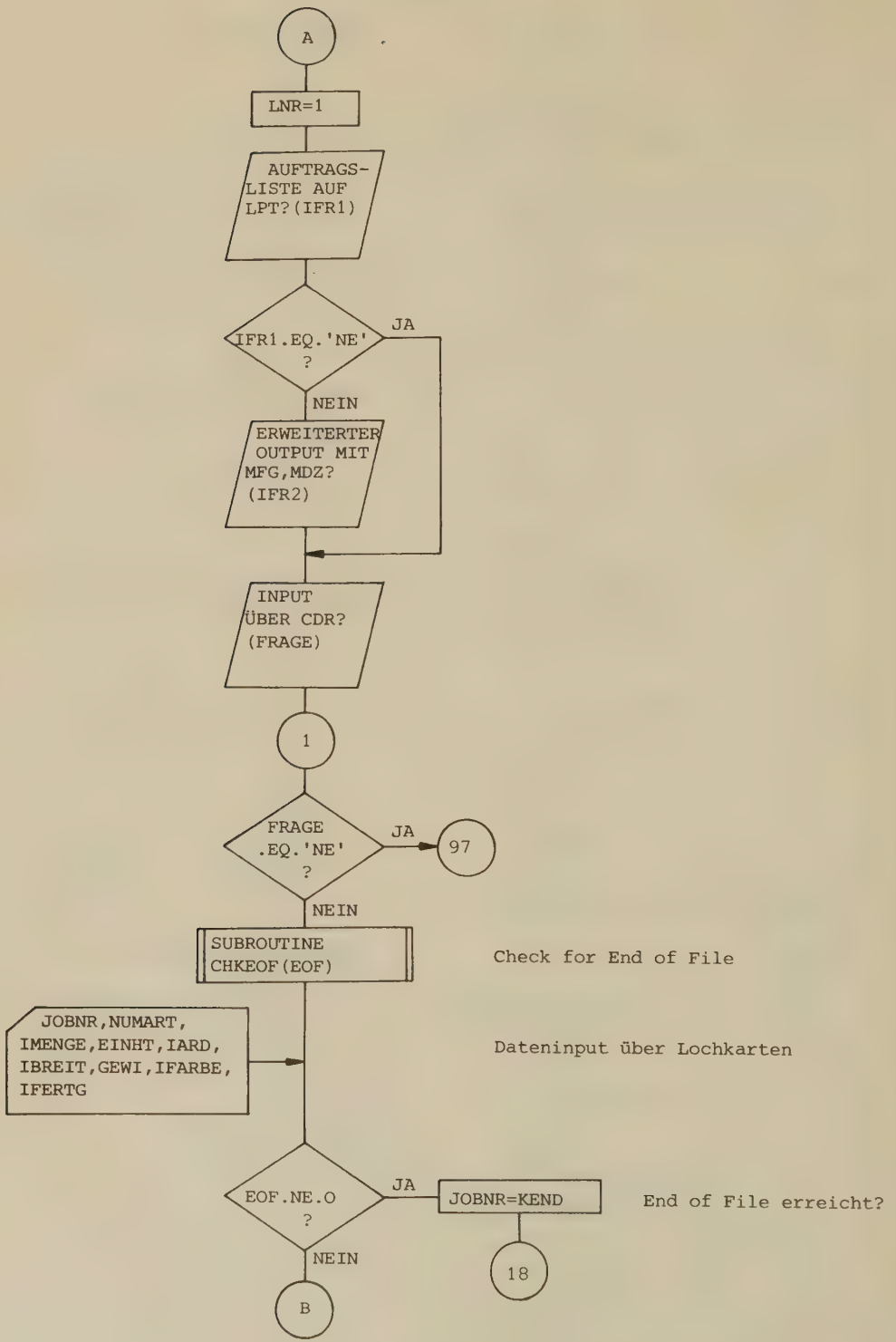
Maschinendaten einlesen

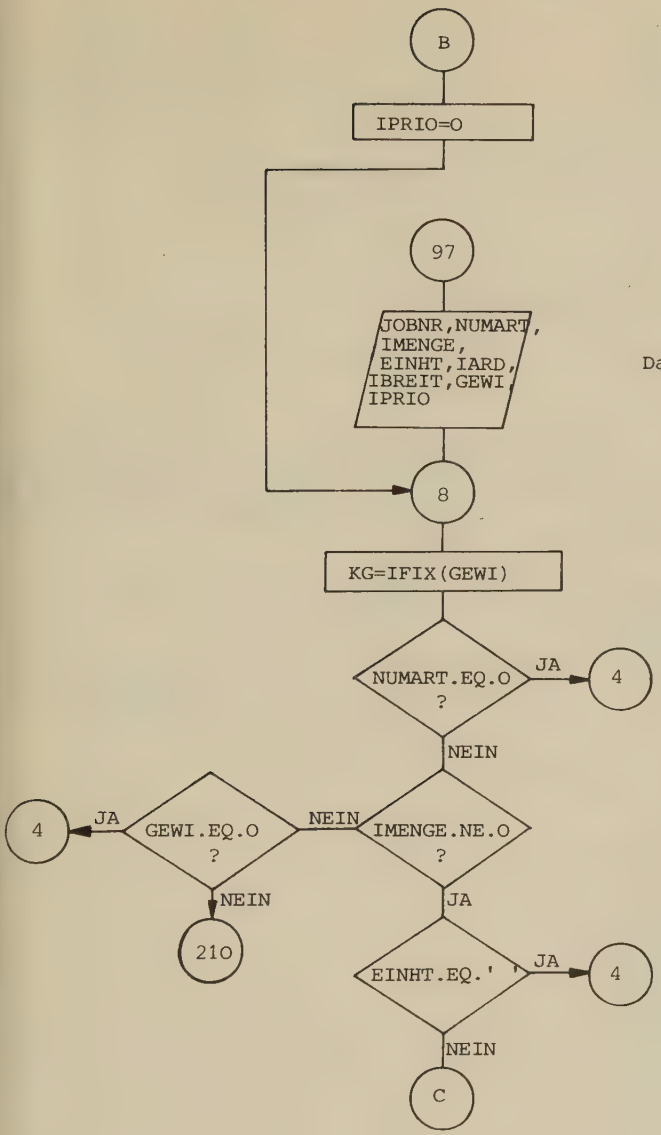
Restriktion, Maschinenart und Endzeit merken

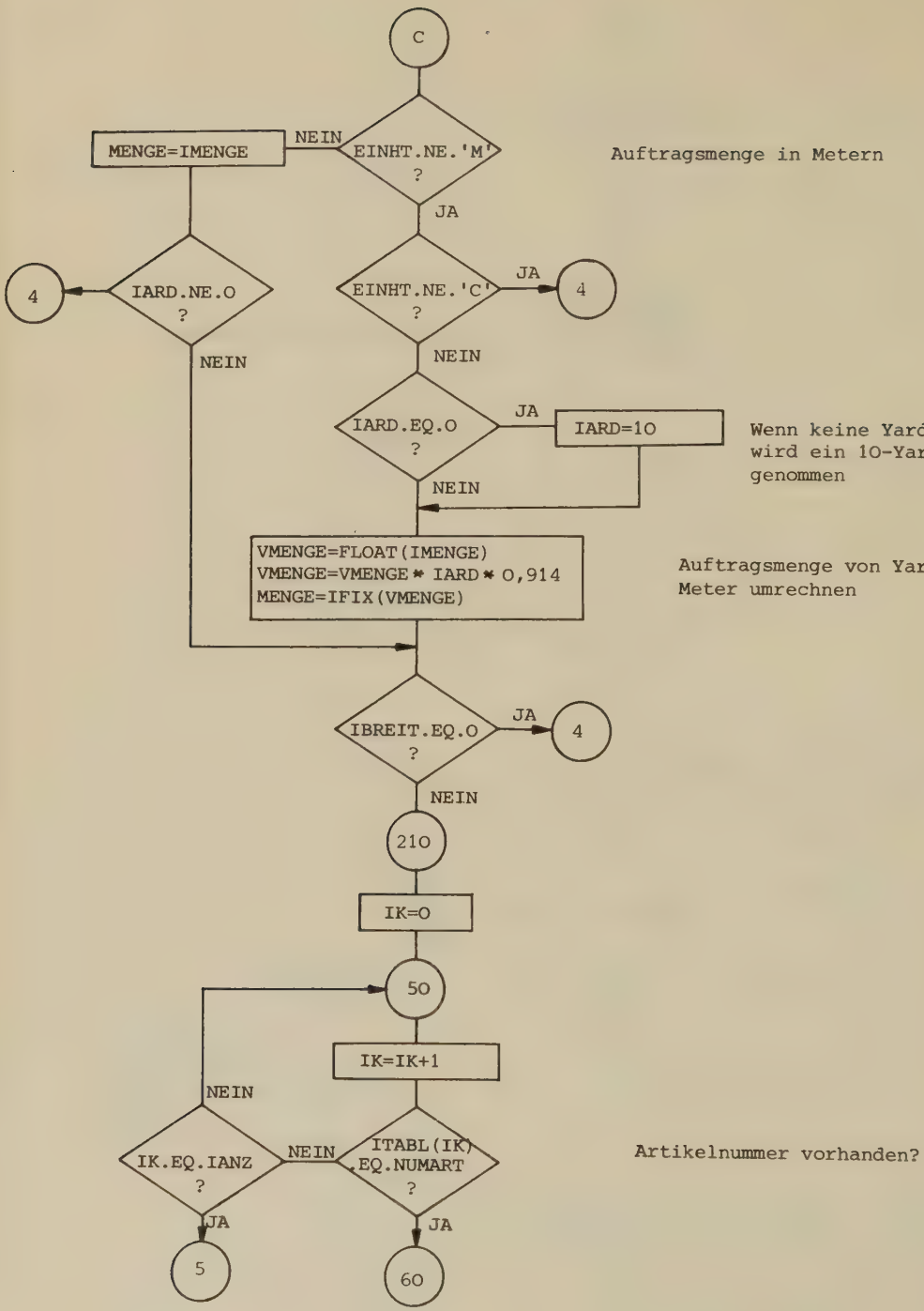
Alle Maschinen durchsucht?

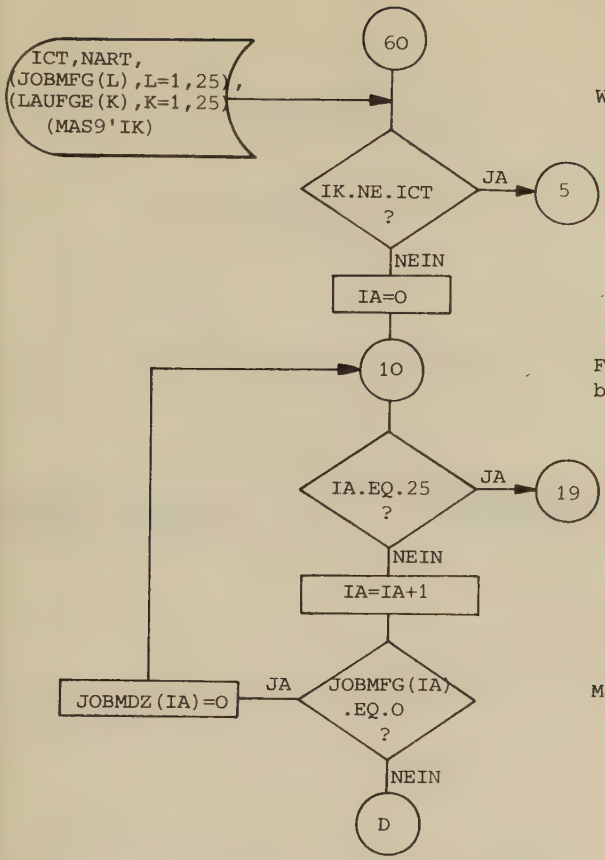
Waren-Maschinen-Durchlauf-File durchlesen

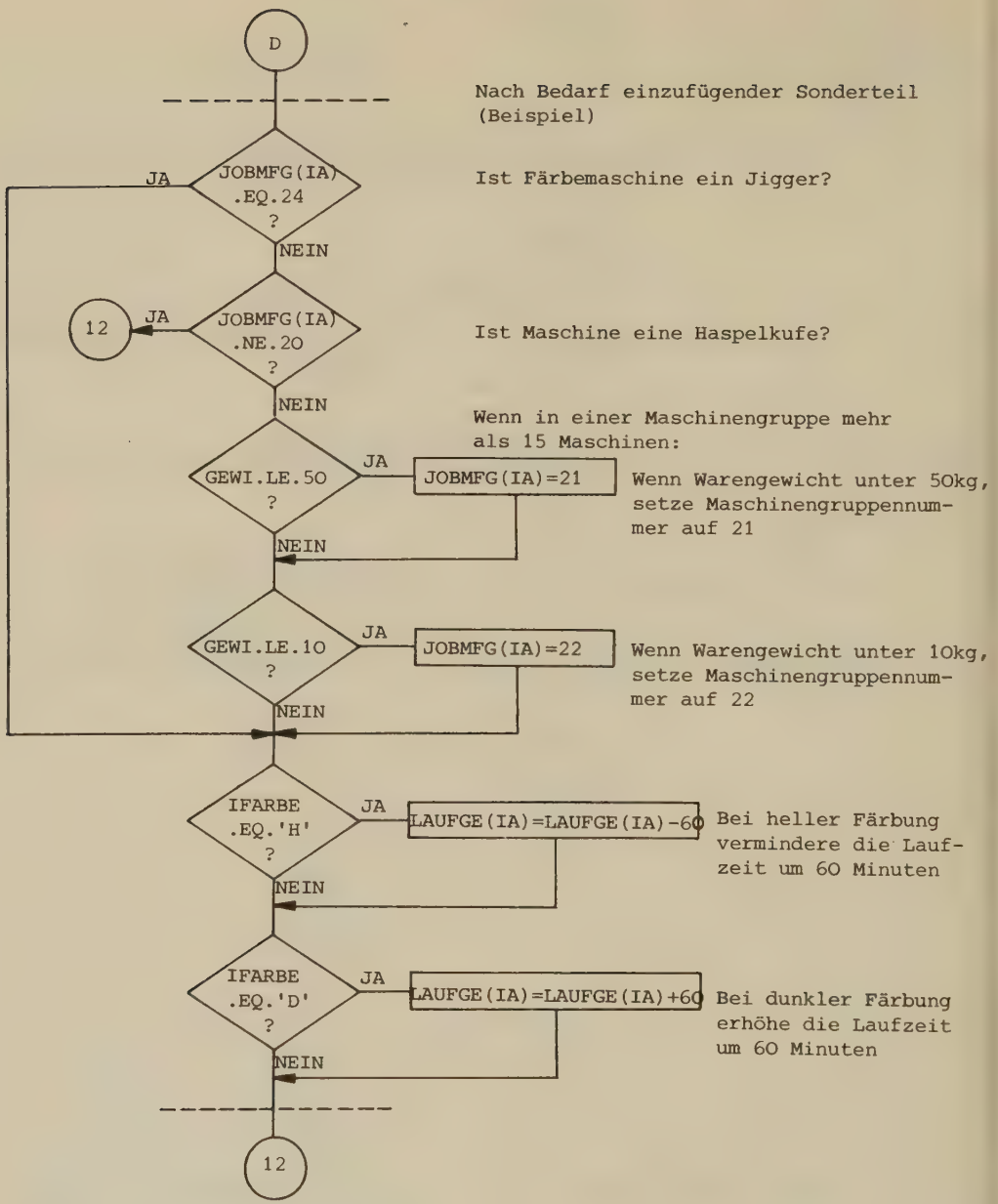
Artikelnummer in Feld ITABL schreiben

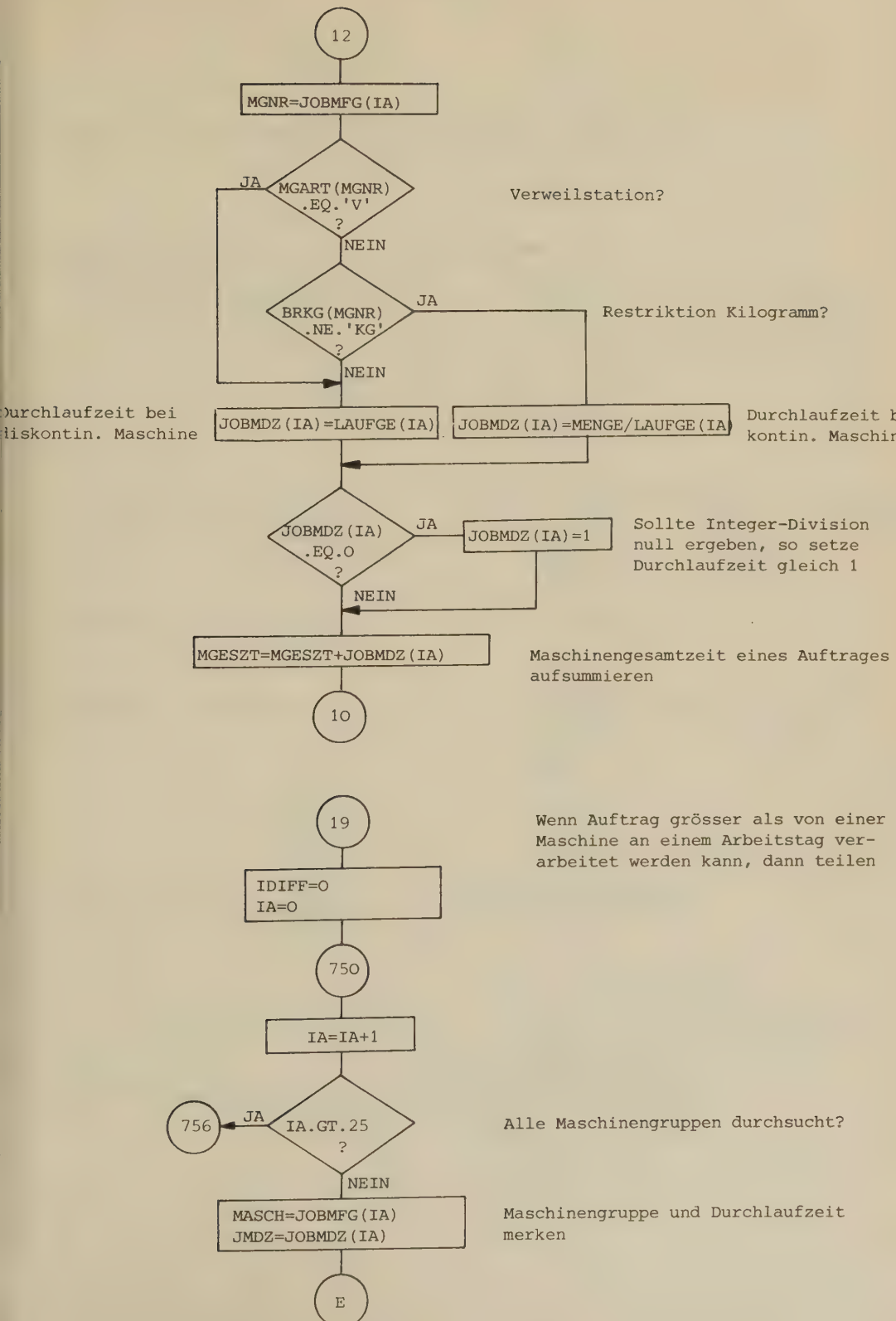

A
LNR=1
AUFTRAGS-
LISTE AUF
LPT?(IFR1)
IFR1.EQ.'NE'
?
JA
NEIN
ERWEITERTER
OUTPUT MIT
MFG,MDZ?
(IFR2)
INPUT
ÜBER CDR?
(FRAGE)
1
FRAGE
.EQ.'NE'
?
JA
97
NEIN
SUBROUTINE
CHKEOF(EOF)
Check for End of File
JOBNR,NUMART,
IMENGE,EINHT,IARD,
IBREIT,GEWI,IFARBE,
IFERTG
Dateninput über Lochkarten
EOF.NE.O
?
JA
JOBNR=KEND
End of File erreicht?
NEIN
18
B

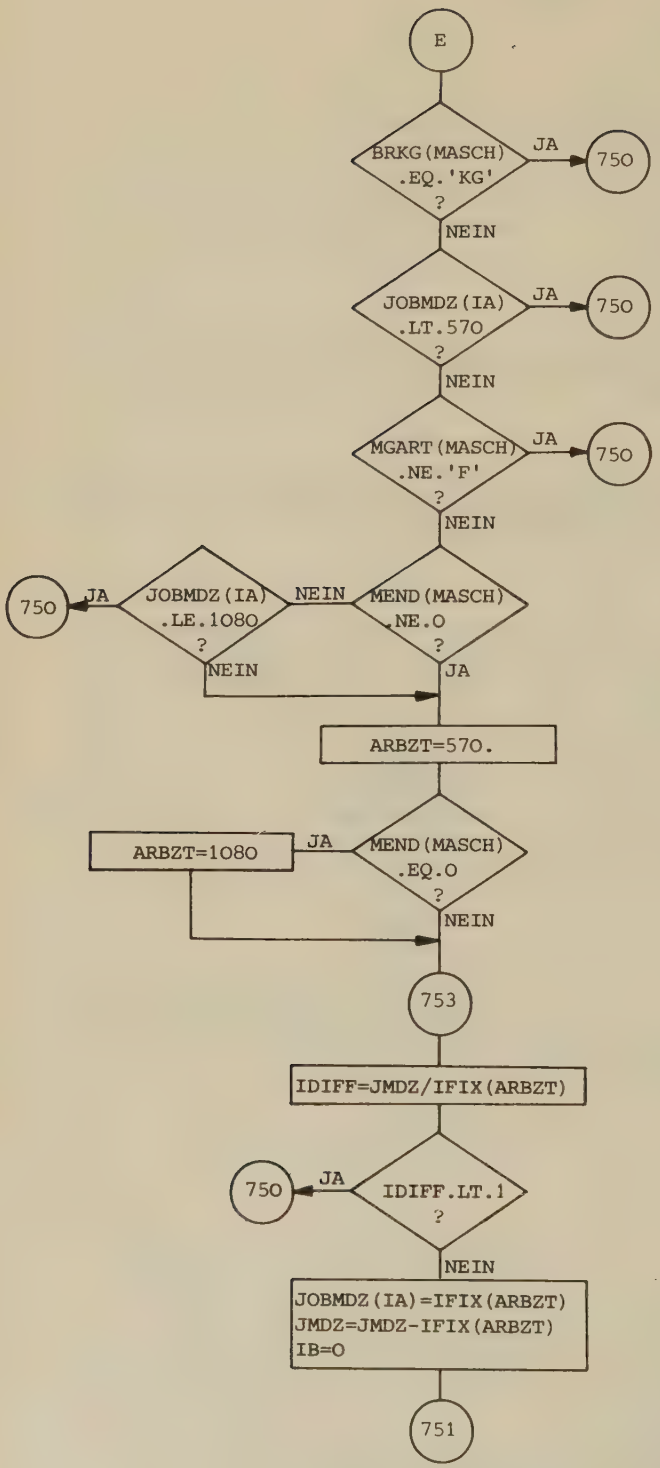

B
IPRIO=O
97
JOBNR,NUMART,
IMENGE,
EINHT,IARD,
IBREIT,GEWI,
IPRIO
Dateninput über Terminal
8
KG=IFIX(GEWI)
NUMART.EQ.O
?
JA
4
Plausibilitätstests
NEIN
4
JA
GEWI.EQ.O
?
NEIN
IMENGE.NE.O
?
NEIN
210
JA
EINHT.EQ.' '
JA
4
NEIN
C


C
EINHT.NE.'M'
?
NEIN
MENGE=IMENGE
JA
Auftragsmenge in Metern
EINHT.NE.'C'
?
JA
4
IARD.NE.O
?
4
NEIN
NEIN
IARD.EQ.O
?
JA
IARD=10
Wenn keine Yards angegeben, wird ein 10-Yard Stück angenommen
NEIN
VMENGE=FLOAT(IMENGE)
VMENGE=VMENGE * IARD * 0,914
MENGE=IFIX(VMENGE)
Auftragsmenge von Yards in Meter umrechnen
IBREIT.EQ.O
?
JA
4
NEIN
210
IK=O
50
IK=IK+1
NEIN
IK.EQ.IANZ
?
NEIN
ITABL(IK)
.EQ.NUMART
?
Artikelnummer vorhanden?
JA
JA
5
60


60
ICT,NART,
(JOBMFG(L),L=1,25),
(LAUFGE(K),K=1,25),
(MAS9'IK)
Waren-Maschinen-Durchlauf einlesen
IK.NE.ICT
?
JA
5
NEIN
IA=O
10
Für alle Maschinen die Laufzeiten
berechnen
IA.EQ.25
?
JA
19
Alle Maschinen durchsucht?
NEIN
IA=IA+1
JOBMFG(IA)
.EQ.O
?
JA
JOBMDZ(IA)=O
Maschinennummer gleich null?
NEIN
D


D
Nach Bedarf einzufügender Sonderteil (Beispiel)
JOBMFG(IA) .EQ.24 ?
JA
Ist Färbemaschine ein Jigger?
NEIN
12
JA
JOBMFG(IA) .NE.20 ?
Ist Maschine eine Haspelkufe?
NEIN
Wenn in einer Maschinengruppe mehr als 15 Maschinen:
GEWI.LE.50 ?
JA
JOBMFG(IA)=21
Wenn Warengewicht unter 50kg, setze Maschinengruppennummer auf 21
NEIN
GEWI.LE.10 ?
JA
JOBMFG(IA)=22
Wenn Warengewicht unter 10kg, setze Maschinengruppennummer auf 22
NEIN
IFARBE .EQ.'H' ?
JA
LAUFGE(IA)=LAUFGE(IA)-60
Bei heller Färbung vermindere die Laufzeit um 60 Minuten
NEIN
IFARBE .EQ.'D' ?
JA
LAUFGE(IA)=LAUFGE(IA)+60
Bei dunkler Färbung erhöhe die Laufzeit um 60 Minuten
NEIN
12


12
MGNR=JOBMFG(IA)
JA
MGART(MGNR)
.EQ.'V'
?
Verweilstation?
NEIN
BRKG(MGNR)
.NE.'KG'
?
JA
Restriktion Kilogramm?
NEIN
Durchlaufzeit bei
diskontin. Maschine
JOBMDZ(IA)=LAUFGE(IA)
JOBMDZ(IA)=MENGE/LAUFGE(IA)
Durchlaufzeit bei
kontin. Maschine
JOBMDZ(IA)
.EQ.0
?
JA
JOBMDZ(IA)=1
Sollte Integer-Division
null ergeben, so setze
Durchlaufzeit gleich 1
NEIN
MGESZT=MGESZT+JOBMDZ(IA)
Maschinengesamtzeit eines Auftrages
aufsummieren
10
19
Wenn Auftrag grösser als von einer
Maschine an einem Arbeitstag ver-
arbeitet werden kann, dann teilen
IDIFF=0
IA=0
750
IA=IA+1
756
JA
IA.GT.25
?
Alle Maschinengruppen durchsucht?
NEIN
MASCH=JOBMFG(IA)
JMDZ=JOBMDZ(IA)
Maschinengruppe und Durchlaufzeit
merken
E



Nicht für diskontin. Prozesse

Nicht, wenn Verarbeitungszeit kürzer als Normalarbeitszeit (=570 Minuten angenommen)

Nicht, wenn es keine Maschine ist

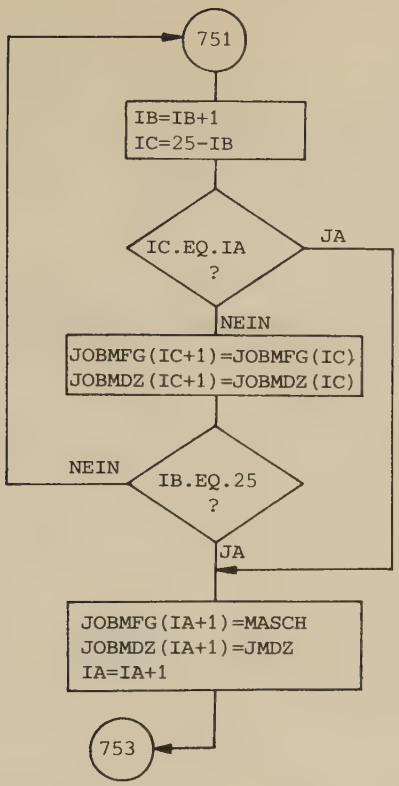
Wenn Maschinenendzeit gleich null, gilt Normalschicht (=1080 Minuten angenommen)

Normalarbeitszeit 570 Minuten

2 Normalschichten = 1080 Minuten

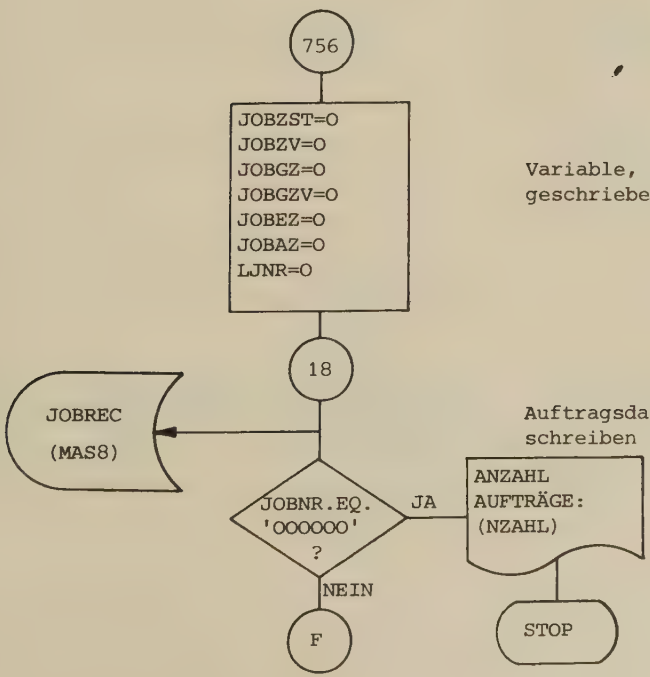
Verarbeitungszeit muss wie oft geteilt werden?

Neue Teilverarbeitungszeit eintragen



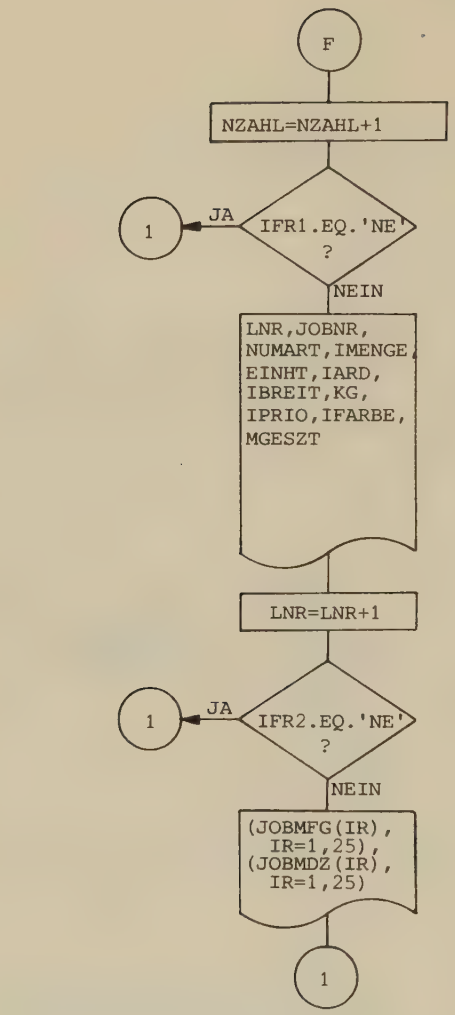
Maschinen in Feld nach hinten schieben, um Platz für zusätzliche Bearbeitungsstationen an der richtigen Stelle zu schaffen.

Zusätzliche Maschinen mit der geteilten Verarbeitungszeit einfügen



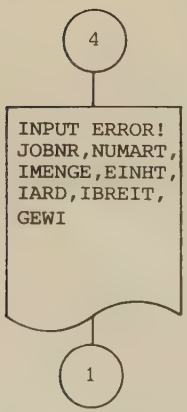
Variable, die auf Massenspeicher geschrieben werden, initialisieren

Auftragsdaten auf Massenspeicher schreiben



Auftragsliste drucken

Maschinenfolge und Durchlaufzeiten drucken



Fehlermeldung

Fehlermeldung

Textiltechnisches Glossar

- Aetzanlagen: Bei Stickereien werden die Grundgewebe chemisch oder mechanisch zerstört, so dass nur die eigentliche Stickerei übrigbleibt.

- Appreturfoulard: Besteht aus einem Trog und zwei Quetschwalzen. Die Gewebe werden mit Appreturflotte getränkt und zwischen den Walzen gleichmässig abgequetscht.

- Beuchkessel: Autoklav, in dem die Gewebe unter Druck und hoher Temperatur (über 100°C) mit Alkali gekocht werden. Dient zur Entfernung der Baumwollschalen und sonstigen Verunreinigungen von Baumwollgeweben.

- Diskontinuierliche Bleiche (Bleichbottiche): Zylindrische Behälter, in denen das zu bleichende Gewebe eingelegt wird. Durch den Warenblock wird dann die Bleichflotte mehrere Stunden im Kreislauf hindurchgepresst.

- Diskontinuierliche Färberei (Haspelkufe, Jigger, Jet, HT-Apparat): Die zu färbenden Stoffe werden in einem Trog, über dem eine Haspel angeordnet ist, eingelegt. Im Trog befindet sich die Färbeflotte, wobei bei der Haspelkufe und beim Jet das Gewebe im Strang, beim Jigger im breiten Zustand durch die Färbeflotte gezogen wird. Beim HT-Apparat wird die Farbflotte unter Druck durch den im ausgebreiteten Zustand aufgewickelten Stoff gepresst. Gemeinsam ist allen diskontinuierlichen Färbemethoden, dass der Stoff über eine gewisse Zeit am selben Ort behandelt wird.

- Enzymatische Entschlichtung: Der Abbau der auf dem Rohgewebe befindlichen Stärkeschlichten erfolgt mit Enzymen aus Malzextrakten, Pankreasextrakten oder Bakterienextrakten. Die Stärke wird zur Glukose abgebaut und kann ausgewaschen werden.

- Kontinue - Bleichanlagen (J-Box, Breitbleiche):
  Im Gegensatz zur diskontinuierlichen Bleiche durchwandert bei einer kontinuierlichen Bleichanlage das Gewebe die Behandlungsflotten, Reaktionskammern und Waschmaschinen. Bei der J-Box (Stiefel-)-Bleiche geschieht dies im Strang, bei der Breitbleiche im ausgebreiteten Zustand.

- Kontinue - Färbeanlagen (Foulard, Thermosolanlage):
  Das Gewebe wird in einer Farbstoffflotte getränkt und zwischen zwei Walzen gleichmässig abgequetscht. Wird anschliessend das Gewebe aufgerollt und mehrere Stunden zur Reaktion des Farbstoffes auf der Rolle belassen und später dann ausgewaschen, so spricht man von halbkontinuierlicher Färbung. Wird nach dem Aufbringen der Farbflotte die Reaktion des Farbstoffes mit dem Gewebe durch Dämpfen oder Thermosolieren (erhitzen und trocknen bei sehr hoher Temperatur) oder durch weitere Chemikalienbäder erreicht, so spricht man von einer Kontinue - Färbung.

- Mercerisiermaschine: Wenn ein Baumwollgewebe mit Natronlauge getränkt und in Länge und Breite unter Spannung gehalten wird, tritt eine deutliche Glanzerhöhung ein. Diesen Vorgang nennt man mercerisieren, nach dem Erfinder John Mercer.

- Sengmaschine: Die feinen, vom Gewebe abstehenden Fasern werden durch eine Gasflamme abgebrannt, so dass das Gewebe eine glattere Oberfläche erhält.

- Spannrahmen: Hat die Aufgabe, ein Gewebe unter gleichmässiger vorgegebener Breite zu trocknen. Dazu laufen in einem Trockenkasten zwei horizontal oder vertikal angeordnete endlose Ketten um, die mit Kluppen oder Nadeln bestückt sind, die das Gewebe in der gewünschten Breite halten. Ein Spannrahmen ist in vielen Fällen mit einem Appreturfoulard gekoppelt.

- Stabmaschine: Die in der Textilveredlung bearbeiteten Stoffstücke werden in Meterlagen versandfertig zu einem Stapel gelegt. Wird das Stück vor dem Einlauf in die Stabmaschine in der Längsrichtung gefaltet, so spricht man von "doublieren und staben".

- Trockenschleuder: Eine Wäschezentrifuge wie im Haushalt, nur mit einem grösseren Fassungsvermögen.

Literaturverzeichnis

Bauknecht K., Kohlas J., Zehnder C.A.: Simulationstechnik, Berlin-Heidelberg-New York 1976

Bauknecht K. und Nef W.: Digitale Simulation, Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Systems, Berlin-Heidelberg-New York 1971

Bernard W.: Praxis des Färbens und Bleichens von Textilien, Berlin-Heidelberg-New York 1966

Brockhaus, Chemie-Lexikon, Leipzig 1965

Buzi K.: Die Simulation optimaler Prioritätsregeln für die Ablaufplanung in der Werkstattfertigung, Köln u. Opladen 1971

Conway R.W.: An Experimental Investigation of Priority Assignment in a Job Shop, RAND Corporation RM-3789-PR, 1964

Conway R.W.: Priority Dispatching and Job Lateness in a Job Shop, Journal of Industrial Eng., Vol. XVI, 1965

Conway R.W., Maxwell W.L.: Network Dispatching by the Shortest Operation Discipline, Operations Research, Vol. 10, 1962

Conway R.W., Maxwell W.L., Miller L.W.: Theory of Scheduling, Reading, Mass., 1967

Czeranowsky G.: Programmplanung bei Auftragsfertigung, Wiesbaden 1974

Ellinger Th.: Durchlaufszeit. In: Handwörterbuch der Organisation, herausgeg. von E. Grochla, Stuttgart 1969

Forrester J.W.: Grundzüge einer Systemtheorie, Wiesbaden 1972

Gordon G.: Systemsimulation, München-Wien 1972

Gutenberg E.: Die Produktion, 19. Aufl., Berlin-Heidelberg-New York 1972

Heinen E.: Das Zielsystem der Unternehmung, Wiesbaden 1966

Heinen E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1972

Heinen E.: Industriebetriebslehre, 2. Aufl. Wiesbaden 1972

Hoch P.: Betriebswirtschaftliche Methoden und Zielkriterien der Reihenfolgeplanung bei Werkstatt- und Gruppenfertigung, Frankfurt/M.-Zürich 1973

Hoss P.: Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden, Würzburg-Wien 1965

IBM, Bibliography on Simulation, Report 320-0924-0, White Plains, NY, 1966

IBM, General Purpose Simulation System / 360. Introductory User's Manual; Form Nr. GH20-0304-4

Kanodia L.S.: Queue Balancing - Another Approach to the Theory of Scheduling, M.S.-Thesis, MIT, A.P. Sloan School of Management, 1965

Korndörfer W.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Wiesbaden 1970

Le Grande E.: The Development of a Factory Simulation System Using Actual Operating Data, Management Technology, Vol. 3, Nr. 1, 1963

Malcolm D.G.: Bibliography on the Use of Simulation in Management Analysis, Operations Research, Heft 8, März 1960

Müller-Merbach M.: Optimale Reihenfolgen, Berlin 1970

Nanot Y.R.: An Experimental Investigation and Comparative Evaluation of Priority Disciplines in Job-Shop-Line Queuing Networks, PhD.-Thesis, UCLA 1963

Niemeyer G.: Die Simulation von Systemabläufen mit Hilfe von FORTRAN IV: GPSS auf FORTRAN-Basis, Berlin-New York 1972

Niemeyer G.: Systemsimulation, Frankfurt a.M. 1973

NTIS, Production Planing and Scheduling - A Bibliography with Abstracts, National Technical Information Service, NTIS / PS - 75, 863 Springfield, VA, 1975

Peter M.: Grundlagen der Textilveredlung, Wuppertal-Eberfeld 1964

Pritsker A.A.B.: The GASP IV Simulation Language, New York 1974

Pritsker A.A.B., Kiviat P.J.: Simulation with GASP II, A FORTRAN Based Simulation Language, Englewoods Cliffs 1969

Rath H.: Lehrbuch der Textilchemie, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1963

Riebel P.: Typen der Markt- und Kundenproduktion in produktions- und absatzwirtschaftlicher Sicht, in ZfbF, 17. Jahrgang, 1965

Sägesser R.: Analytische und heuristische Methoden zur Lösung des Reihenfolgeproblems mit besonderer Berücksichtigung der Werkstattfertigung, Diss. HSG St. Gallen 1976

Schnegelsberg G.: Systematik der Textilien, München 1971

Sprotte H-G.: Simultane Termin- und Reihenfolgeplanung mit Auftragsfertigung und stochastischem Auftragseingang, Diss. Universität Köln 1970

Ulrich H.: Die Organisation der Planung in: Grundprobleme der Unternehmungsplanung, IfB BM 41, Bern 1968

Weinberg F., Zehnder C.A. (Ed.): "Heuristische Planungsmethoden", Lecture Notes in Operations Research and Math. Economics, Bd. 13, Berlin 1969

Witte T.: Simulationstheorie und ihre Anwendung auf betriebliche Systeme, Wiesbaden 1973

Wöhe G.: Einführung in die allgem. Betriebswirtschaftslehre, 10. Aufl., München 1970

Lebenslauf

Am 26. März 1947 wurde ich in Feldkirch (Österreich) geboren. Nach vier Jahren Volksschule und 8 Jahren humanistischem Gymnasium in Feldkirch legte ich die österreichische Maturitätsprüfung (schweiz. Typus A) ab.

1967 begann ich mit Studien an der Eidgen. Technischen Hochschule und an der Universität Zürich, wo ich 1974 mit dem Lizentiat in Oekonomie (betriebswirtschaftliche Richtung) abschloss.

Seither bin ich kaufmännischer Geschäftsführer in einem Textillohnveredlungsunternehmen.